

Ein informationstheoretisches
Simulationsmodell zur Detektion
von Superzeichen

von
Peter Hübner
aus
München/Ofr.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548820_0006

Ein informationstheoretisches Simulationsmodell zur Detektion von Superzeichen

Inaugural - Dissertation

der Philosophischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt

von

Peter Hübner

aus

Münchberg/Ofr.

Ein Informationsrepositorium
Simulationsmodell zur Deklaration
von Superfeldern



Tag der mündlichen Prüfung : 28.1.1970

Dekan :	Universitätsprofessor Dr. H.J.Lang
Referent :	Universitätsprofessor Dr. W.Toman
Korreferent :	Universitätsdozent Dr. H.Werbik

V o r w o r t

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die am Zustandekommen der vorliegenden Arbeit Anteil hatten.

Im Besonderen sei Herrn Professor Toman herzlich Dank gesagt für die Ermöglichung und Betreuung der Arbeit.

Gedankt sei weiter den Mitarbeitern des Rechenzentrums der Universität Erlangen-Nürnberg vor allem für die Ratschläge bei der Organisation der Simulationsprogramme und für die Nachsicht, die sie gegenüber dem oft sehr beträchtlichen Rechenzeitaufwand walten ließen.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei jenen Studenten bedanken, die sich für die recht strapaziösen Versuche zur Verfügung stellten.

EIN INFORMATIONSTHEORETISCHES
SIMULATIONSMODELL ZUR DETEKTION
VON SUPERZEICHEN

Beitrag zur Erforschung kognitiver Prozesse

Inhaltsverzeichnis

1. Teil

Zur Theorie kognitiver Prozesse (§1)

Kapitel I :

Kognitive Prozesse als Teil eines umfassenden Anpassungsgeschehens (§3)

Kapitel II :

Der assoziationspsychologische und der behavioristische Ansatz zur empirischen Analyse kognitiver Prozesse - die gestaltpsychologische Kritik (§7)

Kapitel III:

Der operationalistische Ansatz PIAGETS (§24)

Kapitel IV :

Die informationspsychologische Analyse kognitiver Prozesse (§34)

- 1.a) Die Interpretation kognitiver Prozesse als Regelvorgang
- b) Die Quantifizierung der Information
2. Die psychologische Relevanz des Kanalmodells und des Informationsbegriffs
3. Ansätze zu einer einheitlichen informationspsychologisch-operationalen Theorie kognitiver Prozesse und Ableitung der Fragestellung

2. Teil

Ableitung eines Modells zur Detektion irreversibler Superzeichen (§81)

Kapitel I :

Voraussetzungen (§81)

1. Postulate, die aus bisherigen empirischen Ergebnissen ableitbar sind

2. Postulate, die durch die versuchstechnischen Gegebenheiten nahegelegt werden
3. Postulate, die formalen Modellbeschränkungen entsprechen

Kapitel II :

Der Prozeß der Detektion von Superzeichen (S85)

1. Die Annahme der ordnungsspezifischen Codierung bis zu einer Maximalordnung
2. Die Annahme einer kritischen Informationsdistanz als Detektionsindikator

Kapitel III :

Übertragung des Detektionsschemas auf die Modellgrundlagen (S91)

Kapitel IV :

Beschreibung des probabilistischen Detektions-Konfidenz-Modells und des korrespondierenden Programms PROGNOSE (S101)

Kapitel V :

Die Ergänzung des Detektionsmodells durch ein System von Annahmen über die Reproduktionsmechanismen (S120)

1. Partialreproduktion erster Ordnung
2. Partialreproduktion zweiter Ordnung
3. Partialreproduktion dritter Ordnung
4. Partialreproduktion vierter Ordnung
5. Gesamtproduktion im Vordetektionsstadium
6. Das Stadium der Detektion
7. Das Stadium nach der Detektion
8. Zusammenfassung der Annahmen über das Reproduktionssystem

Kapitel VI

Die Kombination von Detektionssystem und Reproduktionssystem in umfassenden Simulationsmodellen (S139)

1. Beschreibung der Basisstruktur der Simulationsmodelle A - D

2. Die Detektionsmodifikationen
A - D
3. Die Detektionsmodifikationen
E und F
4. Die kritische Informationsdistanz
IC

3. Teil

Theoretische Implikationen des Detektions-
modells (§155)

Kapitel I :

Die Grundannahme des Detektionsmodells (§155)

Kapitel II :

Simulationen mit dem probabilistischen
Detektions-Konfidenzmodell PROGNOSE (§160)

1. Darstellung der Inputmodifikationen
 - a) Die Variationstypen des Gesamtkollektivs
 - b) Die Variation des Initialkollektivs
 - c) Die Variation der Konfidenzwahrscheinlichkeit
 - d) Die Variation der kritischen Informationsdistanz IC
2. Darstellung der Simulationsergebnisse
 - a) Zusammenhang zwischen Detektion und Konfidenzwahrscheinlichkeit
 - b) Detektionsbereiche und Detektionswiderstände in Abhängigkeit von der Gesamtentropie der Kollektive
 - c) Detektionsbereiche und Detektionswiderstände in Abhängigkeit von den Strukturtypen H, E und K
 - d) Detektionsverläufe in Abhängigkeit von Entropieverschiebungen im Gesamtkollektiv

Kapitel III :

Simulationen mit den konkret versuchsbezogenen
Modellen MOD A - F (§222)

Vergleich der Detektionsleistungen der
Modelle MOD A - F

Kapitel IV :

Versuch einer lernpsychologischen Interpretation des Superzeichendetektionsmodells (§236)

4. Teil

Die experimentelle Realisation des
Detektionsmodells (§241)

Kapitel I

Versuchstechnische und versuchsökonomische
Erwägungen (§141)

Kapitel II :

Der Aufbau des Zeichenkollektivs (§244)

1. Die Konstruktion des Zeichenkollektivs
2. Die Konstruktion der Superkontexte des
Zeichenkollektivs
3. Die Konstruktion der Reihen
4. Die Überprüfung des Unabhängigkeits-
postulats

Kapitel III :

Beschreibung des Versuchsablaufs (§258)

Kapitel IV :

Gegenüberstellung von Simulationsergebnissen
und empirischen Ergebnissen (§260)

1. Voraussetzungen
2. Die Auswertung der experimentellen Daten

E r s t e r T e i l

Z u r T h e o r i e k o g n i t i v e r P r o z e s s e

Jede Analyse kognitiver Prozesse, sei sie nun philosophisch oder empirisch ausgerichtet, gelangt notwendig in jene paradoxe Situation, sich selbst als Gegenstand ihrer Bemühungen sehen zu müssen.

Der sich daraus ergebenden Konsequenz einer Relativierung der menschlichen Erkenntnis entzieht sich die philosophisch-erkenntnistheoretische Reflexion gewöhnlich durch metaphysische Postulate, die im allgemeinen in irgendeiner Weise die prinzipielle Erkennbarkeit der Wirklichkeit fordern, oder sie resigniert zu Skeptizismus und Agnostizismus.

Die empirische Erforschung kognitiver Prozesse findet sich von vornherein jenseits dieses Erkenntniszirkels, wenn sie den Anspruch der wissenschaftlich-empirischen Erkenntnis reduziert auf das pragmatische Kriterium der Prognosefähigkeit ihrer Modelle, auf die bloße empirische Relevanz ihrer Theorien also.

Durch diese Charakterisierung einer empirischen Theorie kognitiver Prozesse ist bereits eines ihrer wesentlichen Ergebnisse vorweggenommen, nämlich die heuristische Setzung des Erkenntnisvorgangs als eines sich immer flexibler gestaltenden Anpassungsprozesses der kognitiven Mechanismen (vom menschlichen Apperzeptionssystem bis zur wissenschaftlichen Methodologie) an die Wirklichkeit, wobei das Kardinalkriterium dieser Anpassung die Voraussagbarkeit der die Wirklichkeit konstituierenden Ereignisse ist.

An diesem Faktum kann aber zugleich demonstriert werden, daß auch die empirische Erforschung der kognitiven Prozesse insofern dem Erkenntniszirkel noch verhaftet ist, als ein Fortschritt ihrer Forschungsbemühungen und zunehmende "Einsicht" in den Vorgang der Erkenntnis zugleich ihr wissenschaftliches Instrumentarium und ihr Selbstverständnis verändern.

Die heuristische Setzung des Erkenntnisprozesses als Anpassungsvorgang ist jedoch nicht allein das Resultat epistemologischer Forschung, sondern darüberhinaus das Ergebnis des Versuchs einer biogenetischen Einordnung kognitiver Prozesse. Diesem Phänomen soll das folgende Kapitel gewidmet sein.

I. Kognitive Prozesse als Teil eines umfassenden Anpassungsgeschehens

Der Anpassungsbegriff liegt allen differenzierteren Erforschungen kognitiver und informationsverarbeitender Prozesse bei höheren Organismen zugrunde. Seine heuristische Brauchbarkeit wird im allgemeinen als so selbstverständlich angenommen, daß sich seine Setzung in den meisten Fällen implizit vollzieht. Da in der vorliegenden Arbeit von informationeller Adaptation bzw. Akkommodation die Rede sein soll, schien es jedoch nötig, seine Berechtigung zu explizieren.

Die Kategorie der Anpassung wurde durch die DARWINsche Evolutionstheorie als fundamentale biologische Findereg~~e~~l erkannt. Der in dieser Theorie angesprochene Anpassungsprozeß erstreckt sich über viele Generationen von Lebewesen und beschreibt bereits die beiden, einen Anpassungsprozeß in formaler Hinsicht charakterisierenden Parameter : Die Möglichkeit der Produktion vieler zunächst unspezifischer Varianten auf der Seite des sich anpassenden Systems und die Möglichkeit der Aussonderung von Varianten aufgrund eines Anpassungskriteriums. In der DARWINSchen Theorie ist die erste dieser Komponenten repräsentiert in der Produktion einer Vielzahl von Erbvarianten, einerseits zustandegekommen durch Neukombination der väterlichen und mütterlichen Erbanlagen, andererseits durch mehr oder minder zufällige Mutationen, die zweite Komponente durch den sog. Selektionsprozeß, der die Umwelt zum Prüfstein für die Anpassungszulänglichkeit einer Variante werden läßt.

Der diesen Mechanismen gehorchende Makro-Anpassungsprozeß der Evolution der Organismen führt bekannt-

lich zu immer flexibleren Formen, d.h. zu Formen, die eine wachsende Toleranz gegenüber Umweltmodifikationen besitzen. Anders ausgedrückt, Organismen auf einem höheren Entwicklungsniveau besitzen in zunehmendem Maße die Fähigkeit, Umweltmodifikationen in ihrem Verhalten nachzuvollziehen, sich innerhalb kurzer Zeit an solche Veränderungen anzupassen. Die durch die Erborganisation der Organismen vorprogrammierten Handlungsdipositionen (z.B. Instinkte, motorische Koordinationen usw.) treten allmählich zurück zugunsten einer ontogenetischen und damit differenzierteren Fixierung der Organismen auf die aktuellen Umweltgegebenheiten (Lernen !).

Beim Menschen erreicht diese Instinktreduktion, der "stammesgeschichtliche Abbau fast aller festmontierten Zuordnungen von 'Auslösern' zu speziellen angeborenen Bewegungsweisen" (GEHLEN, 10, S16) und damit die Lernkapazität und "Weltoffenheit" den Höhepunkt. Die "physiologische Frühgeburt" (PORTMANN, 22) des Menschen, d.h. die Verlegung eines Teils der phylogenetisch zu erwartenden Schwangerschaftsdauer in die Umwelt ist damit in Zusammenhang zu sehen.

Der entscheidende Fortschritt, der durch diese Entwicklungstendenz impliziert wird, ist die immer perfektere Repräsentation der Umweltdaten in 'Speichersystemen des Organismus' und die immer ausgeprägtere Fähigkeit der Organismen, mit Hilfe solcher interner Umweltmodelle die Wirkungen des eigenen Einflusses auf die Umwelt zu antizipieren. Die Entstehung des Bewußtseins ist eine Begleiterscheinung dieser Evolution und kann als der Ausdruck einer in der Zeitdimension anwachsenden Antizipationsspanne gewertet werden.

Das Bewußtsein ermöglicht dem Organismus die interne

symbolische Manipulation der Umweltfakten und im Laufe eines langwierigen individuellen Lernprozesses auch die prinzipielle Abtrennbarkeit des objektiven Geschehens vom subjektiven, die Unterscheidung zwischen einer "Faktenaußenwelt" (GEHLEN) und der internen Abbildung dieser Faktenaußenwelt. Ziel der individuellen Entwicklung ist es, die Angleichung des internen Umweltmodells an die faktischen Gegebenheiten hinsichtlich einer maximalen Anzahl von verschiedenen Aspekten und in Richtung auf eine maximale Toleranz gegenüber möglichen Umweltveränderungen zu optimieren. Das Kriterium dieses individuellen Anpassungsprozesses kann allein die Übereinstimmungsgüte des antizipierten Effekts von Aktionen mit dem tatsächlichen Effekt von Handlungen sein.

Das "interne Umweltmodell", so resultiert aus diesem kurzen Abriß der Phylogenese kognitiver Prozesse, ist also ausschließlich am Kriterium seiner Handlungsrelevanz ausgerichtet. Es ist daher nicht verwunderlich, daß eine venünftige wissenschaftstheoretische Konzeption dieses Kardinalprinzip "erkennender" organischer Systeme nachvollzieht und systematisiert und ihre Theorien am Kriterium der Prognosefähigkeit orientiert.

Die Psychologie widmet sich nun detailliert der Erforschung jener Mechanismen, die den Informationsaustausch zwischen internem Umweltsystem und der Faktenaußenwelt konstituieren. Die wesentlichen Sektoren, in die sich dieses Gebiet untergliedern läßt, sind, in der Terminologie der klassischen Psychologie Wahrnehmen, Lernen (Gedächtnis) und Denken ("psychische Funktionen" nach ROHRACHER). Für die vorliegende Arbeit interessieren vor allem Modelle, die die Funktionen des Lernens und Denkens beschreiben. Im folgenden Kapitel sind deshalb typische Ansätze

der konventionellen Psychologie zu diesen Problemgebieten kurz referiert. Der Schwerpunkt liegt dabei auf jenen Aspekten der dargestellten Konzepte, die unmittelbar in den Gegenstandsbereich der Arbeit fallen, die also beispielsweise das "Lernen" von Sequenzen jeder Art betreffen oder das "Erkennen" von Ordnungen. Es wird deutlich werden, daß die Übergänge und Überschneidungen zwischen den Regionen Lernen und Denken so mannigfaltiger Art sind, daß man geneigt ist, entweder viele Arten kognitiver Mechanismen zu unterscheiden, oder den Prozeß des Erfahrungserwerbs einer generellen Konzeption einzuverleiben.

II. Der assoziationspsychologische und der behavioristische Ansatz zur empirischen Analyse kognitiver Prozesse - die gestaltpsychologische Kritik

Das Verhalten von Erinnerungen und Vorstellungen insbesondere bei der Reproduktion erregte schon frühzeitig die Aufmerksamkeit der an erkenntnistheoretischen Fragen interessierten Wissenschaftler und Philosophen. So läßt sich die Formulierung der allgemeinsten Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten, die dem Vorstellungsmechanismus zugrunde zu liegen scheinen bis auf ARISTOTELES zurückverfolgen.

Besonders die englischen Empiristen bemühen sich um eine Kategorisierung der Erinnerungsdynamik, indem sie nach Gesetzen suchen, nach denen die wechselseitige Reproduktion von Gedächtnisinhalten erfolgt.

Die generelle hypothetische Setzung, die der Erklärung solcher Gesetzmäßigkeiten zugrundeliegt wird ist die einer Assoziation (LOCKE) von Vorstellungen unter bestimmten Bedingungen. Das Zustandekommen von Assoziationen wird begünstigt durch die Berührung von Vorstellungen im Anschauungsraum (räumliche und zeitliche Kontiguität), aber auch durch inhaltliche Ähnlichkeit bzw. inhaltlichen Kontrast.

Diese zunächst hypothetisch geforderten Assoziationen von zwei oder mehreren Vorstellungsinhalten neigen dazu, bei der vorstellungsmäßigen Produktion eines ihrer zugeordneten Mitglieder selbst ins Bewußtsein zu treten.

Durch diese allgemeinen Prinzipien wurden die Anfänge der empirischen und experimentellen Psychologie im angloamerikanischen und im deutschen Bereich geprägt. Die sog. Assoziations- bzw. (polemisch) Elementenpsychologie beschäftigte sich in Deutschland vorwie-

gend mit der Rolle der Assoziationen beim Lernen von verbalem Material (z.B. sinnfreie Silben). Die Stärke von Assoziationen und der Abfall der Stärke in der Zeit sind dabei die wesentlichen quantitativ faßbaren Aspekte der Forschung (EBBINGHAUS, MÜLLER, JOST u.a.) . Die amerikanischen Lerntheorien stellen ebenfalls das Assoziationsprinzip in den Mittelpunkt ihrer theoretischen Überlegungen. Sie entwerfen Modelle zur Erklärung des Lernens komplexerer Verhaltensweisen (vor allem in Tierversuchen).

Es ist nicht die Absicht dieser Arbeit, jene Bemühungen im einzelnen zu verfolgen. Für den Gegenstandsbereich der Arbeit (Lernen von Sequenzen, Erkennen von Ordnungen) sind jedoch einige Ergebnisse und Folgerungen dieser historischen Konzepte von Gewicht, da sie in unmittelbarer inhaltlicher Korrespondenz zu den Grundlagen und Implikationen des zu deduzierenden Modells gesehen werden können.

In diesem Zusammenhang sind vor allem jene Zusatzannahmen der Assoziationspsychologen zu nennen, die beim Übergang von einfachen Lern- und Denkvorgängen auf komplexere Prozesse der elementaristischen Grundkonzeption angefügt werden mußten, um die Kontinuität der Theorie zu wahren. Das Problemlösen wie das Verhalten von Tieren in einer Problem-Box gehören zu solchen Prozessen, die sich nicht mehr durch das einfache Assoziationsschema allein fassen lassen.

Aus den klassischen Experimenten von ACH ist bekannt, daß die Zielsetzung bei einfachen Aufgaben oder auch nur die Instruktion für irgendeine primitive Verrichtung auf den gesamten Handlungs- bzw. Vorstellungsablauf, der der Erreichung eines Ziels vorangeht, einwirkt. ACH bezeichnete diesen Einfluß als "determinierende Tendenz". SELZ umschreibt diesen Tatbestand:

"Das Bewußtsein von den beobachteten Tatsachen und der Inhalt der Zielsetzung enthalten ... als gemeinsames Moment den Hinweis auf Vorgänge, die einen bestimmten Erfolg herbei führen " (12,S220).

WATT und ACH sahen in der determinierenden Tendenz noch keinen Anlaß, die Grundsätze der Assoziationspsychologie aufzugeben. WATT billigt zwar der Wirkung der Aufgabe eine wichtige Rolle als "Reproduktionsmotiv" zu, trennt davon aber das "eigentlich Mechanische im Denken", die durch die Assoziationen bewirkten Reproduktionstendenzen. Durch die Trennung in Inhalte und Funktionen, die durch die Denkpsychologie der Würzburger Schule generell durchgeführt wurde (vgl. dazu TOMAN, 30,S17), konnte der Bereich der Inhalte, der Vorstellungen, für die Assoziationsgesetze reserviert bleiben, der Bereich der Funktionen aber dem Phänomen der determinierenden Tendenzen zugeteilt werden.

Akzeptiert man eine Unterteilung der dynamischen Bedingungen des Lernens und Denkens mit BERGIUS in eine auf die Qualitäten des Materials zurückzuführende sog. autochtone Dynamik und eine auf motivationalen Gegebenheiten beruhende "allochtone" Dynamik (vgl.2,S192), so sind die determinierenden Tendenzen ACHs beim Lösen von Aufgaben und Befolgen einfacher Instruktionen eher der allochtonen Dynamik einzugliedern.

Die gestaltpsychologische Kritik an dieser Interpretation wird durch SELZ bereits vorweggenommen. SELZ sieht bei der Lösung selbst der einfachen Aufgaben der ACHschen Experimente bereits die Wirksamkeit eines die Aufgabe umfassenden Schemas: " Eine Voraussetzung (der Aufgabenlösung) ist die Entstehung eines einheitlichen Zielbewußtseins. Vor allem ist hierzu notwendig, daß das Bewußtsein von der Aufgabe im engeren Sinne und das Bewußtsein von dem durch das Reizwort

bezeichneten Gegenstand nicht einfach nebeneinander bestehen bleiben, sondern zum Bewußtsein von der Gesamtaufgabe ... vereinigt werden." (zit. n. KOCH, 17, S69).

Beim produktiven Problemlösen spricht SELZ von einem Komplex, dessen, durch das Problem aufgeworfene Lücken, zunächst durch ein "antizipierendes Schema" ausgefüllt werden, welches " zwischen den neuen Elementen und der Gesamtheit des ihnen entsprechenden Komplexes ein System von provisorischen Gesamtrelationen " herstellt (vgl. PIAGET , 20, S40). Dieses antizipierende Schema kann als "leitende Hypothese" bezüglich der Lösung des Problems interpretiert werden (PIAGET). Da die Struktur des antizipierenden Schemas im großen und ganzen eine erste, durch die Struktur des Problems nahegelegte "Organisation der Fakten " darstellt , ist bei SELZ eine stärkere Hervorhebung der Eigendynamik des zu lösenden Problems nicht zu verkennen. Die eigentliche Gestaltpsychologie setzt diesen Akzent bekanntlich noch deutlicher.

Bevor wir jedoch die gestaltpsychologische Kritik des Assoziationsprinzips ins Auge fassen, haben wir uns noch mit einigen Schulen des Behaviorismus auseinanderzusetzen, die grundsätzlich, ebenso wie die deutsche Assoziationspsychologie Realisationen des elementaristischen Assoziationskonzepts sind. Das Modell TOLMANs macht hierin eine Ausnahme und wird deshalb am Schluß, quasi als Überleitung zur gestaltpsychologischen Kritik dargestellt werden.

Die behavioristischen sog. S-R-Theorien des Lernens bzw. des Verhaltens wurden im wesentlichen an Tierexperimenten entwickelt. Die Methode der Introspektion bzw. die des verbalen Lernens der deutschen Lern- und Denkpsychologie war natürlich für die Erfassung tierischen Verhaltens nicht geeignet, glei-

chermaßen auch nicht mentalistische Begriffe wie "Einsicht", "Spannung", "Lösung" usw., die nur über die Introspektion entsprechenden Fakten zuordenbar sind.

Die von den Behavioristen applizierte Methode der "objektiven" Verhaltensbeobachtung setzte nun aber gleichzeitig eine modifizierte inhaltliche Fixierung des Assoziationsprinzips voraus, entsprechend den empirisch feststellbaren Größen, die eine Assoziation, eine Verbindung eingehen können. Das aktuelle Verhalten der Tiere wurde unter sonst vergleichbaren Bedingungen als Wirkung der gegebenen Situationen interpretiert, die, in der Beobachtungssprache oder auch quantitativ festgelegten Reaktionen der Tiere wurden den Reizgegebenheiten gegenübergestellt; eine Assoziation ist in behavioristischer Fassung daher eine Verbindung zwischen Reiz- und Reaktionsgegebenheiten, allgemeiner, zwischen Situation und Verhalten.

Interessanter als diese Grundannahme sind aber nun die Aussagen der einzelnen Schulen über das Zustandekommen, die Stärke, die Extinktion, die Generalisierung, die Aneinanderrückführung und andere Aspekte solcher elementaren Verknüpfungen. Hier, wie bei den Assoziations-theoretikern wird, dem Gegenstand der vorliegenden Arbeit angemessen, der Erklärung des Zustandekommens von Verhaltenssequenzen besondere Beachtung geschenkt.

THORNDIKE, der als eigentlicher Begründer der amerikanischen behavioristischen Lerntheorien gilt, nennt die elementaren Einheiten des Lernprozesses "bonds" bzw. "connections" und meint damit Verknüpfungen zwischen einzelnen Sinnesempfindungen und motorischen Impulsen. Seine Versuchstiere befanden sich in Problemkäfigen, aus denen sie entkommen sollten. Von den vielen Verhaltensweisen des Tieres wurden diejenigen belohnt, die zur Öffnung des Käfigs führten. Diese Art der

Verhaltensselektion, das "instrumentelle Konditionieren" führt nach vielen Versuchen zur immer häufigeren Produktion der "richtigen" Reaktion, zum Lernen der Problemsituation also. THORNDIKE versuchte seine Beobachtungsdaten über Reizsituation einerseits und Reaktionen andererseits durch möglichst wenige grundsätzliche Annahmen aufeinander zu beziehen. Er nannte diese Annahmen "laws", Gesetze. Das "law of readiness", das Gesetz der Bereitschaft, besagt, daß nur dann ein Verhalten zu einer Bedürfnisbefriedigung führen kann, wenn der Organismus im Zustand der Aktionsbereitschaft ist. Ist ein Organismus "in Bereitschaft" (für eine bestimmte Bedürfnisbefriedigung), so wird er jedesmal bei Lösung einer Problemstuation eine solche Befriedigung "erleben". Die Wahrscheinlichkeit einer Reaktion aber wird erhöht, wenn diese Reaktion zu einer Befriedigung des Organismus führte ("law of effect"). Durch das Gesetz des Erfolges wird so etwas wie eine selektive Rückwirkung der Befriedigung auf die vorangegangene Verhaltenssequenz formuliert. Von allen Verhaltensweisen, die ein Tier in einer Problemsituation zeigt (trial-and-error) werden diejenigen offensichtlich nachträglich in irgendeiner Weise herausgehoben, die von einer unmittelbaren Befriedigung gefolgt sind. Dieser assoziationsverstärkenden Wirkung der Bedürfnisreduktion wird von THORNDIKE ein nicht näher erläuterter neurophysiologischer Mechanismus zugeordnet, der unter gewissen Bedingungen die nervöse Repräsentanz einer Verhaltenssequenz auch nach ihrer beobachtbaren Beendigung noch aufrecht erhalten kann (solche hypothetischen Setzungen sind im "Gesetz der Bereitschaft" expliziert).

In unserem Zusammenhang scheint das durch THORNDIKE empirisch belegte Faktum erwähnenswert, daß ein befriedigender (mehr als ein nichtbefriedigender)

Gesamtzustand des Organismus nach Beendigung einer Verhaltenssequenz mit der Enge seiner Verbindung zum Reiz-Reaktionspaar einen stärkeren Effekt hinterläßt. Ein positiver Effekt wirkt nicht nur auf jene S-R-Verbindung, der er unmittelbar nachfolgt, sondern er verstärkt auch zeitlich benachbarte Reaktionsglieder. THORNDIKE spricht von einem "spread of effect" (vgl. dazu FOPPA, 6, S335).

Weitere zusätzliche Annahmen, die als Konzessionen an die durch die Gestaltpsychologie betonte Gesamtheit einer Problemsituation zu werten sind; das Prinzip der "Zusammengehörigkeit" einer Reaktion mit der gesamten Situation und der Begriff der "Polarität der Assoziation" (vgl. TOMAN, 30, S45). Die Zusammengehörigkeit aller Elemente einer Situation ("beloningness") erfüllt bei THORNDIKE eine ähnliche Funktion, wie die "determinierenden Tendenzen" im ACHSchen Konzept. Durch die Eigenschaft von Assoziationen, leichter in der Richtung reproduzierbar zu sein, in der sie gestiftet wurden ("Polarität") wird der Gesamtsituation noch eine Art Zielorientierung verliehen.

Im Lernmodell GUTHRIES wird die "molekulare" Struktur des Lernprozesses stringenter als bei THORNDIKE formuliert : Allein die räumlich-zeitliche Berührung von Reiz und Reaktion (= Kontiguität) ist ausschlaggebend für das Zustandekommen einer Assoziation. GUTHRIE und später auch ESTES vertreten die Auffassung, daß diese Assoziationen im Augenblick ihrer Bildung maximale Stärke erreichen (Alles-oder-Nichts-Konzept der Assoziation, vgl. dazu FOPPA, 7, S623). Mit zunehmender Auftrittshäufigkeit einer Reiz-Reaktionskette werden nicht die einzelnen Assoziationen der Kette verstärkt, sondern durch die Stiftung weiterer Verknüpfungen zwischen den bereits vorhandenen Gliedern der Sequenz wird das Verhalten immer vollkommener gelernt. Dabei wird angenommen, daß die Reaktion auf einen Reiz jeweils als Auslöser für die nachfolgende Reaktion fungiert. Die Befriedigung oder Trieb-

reduktion am Ende einer Verhaltenssequenz hat keinen direkten Einfluß auf das Behalten dieser Sequenz. Da eine solche Triebbefriedigung und die mit ihr verbundenen Reaktionen als Abschluß einer Verhaltenssequenz auftreten und in den meisten Fällen nach einem erfolgreichen Abschluß eines bestimmten Verhaltensmusters ganz andere Bereiche des Verhaltensrepertoires in Aktion treten, verhindert das Triebreduktionsverhalten jedoch indirekt das weitere Auftreten ähnlicher Verhaltensweisen und damit die Überlagerung von bereits verknüpften Elementen der Verhaltenssequenz durch andere Assoziationen. Die Belohnung am Ende einer Verhaltenssequenz verhindert also die Desintegration dieser Sequenz.

Wie THORNDIKE, so muß auch GUTHRIE so etwas wie die ganzheitliche Wirkung eines Verhaltensablaufs in ihrer Ausrichtung auf das Ziel nachträglich einführen : "Vorstellungen und Absichten sind antizipatorische Reaktionen, und diese wieder sind Handlungsbereitschaften, Spannungen jener Muskeln, die an der Gesamthandlung teilnehmen werden und die dadurch andauern, daß entsprechende Reize der Situation andauern." (zit. n. TOMAN, 30, S 46)

Das Lernmodell HULLS macht wohl die explizitesten Annahmen über jene hypothetischen Mechanismen, die sich zwar der Beobachtung entziehen, die aber dennoch, durch den Formalismus des Modells, mit der Empirie funktional in Verbindung stehen. Mit TOLMAN bezeichnet man solche zwischen die empirischen Fakten geschaltete Erklärungsschemata als "intervenierende Variable", neuerdings, nach MAC CORQUODALE und MEEHL, als hypothetische Konstrukte (vgl. dazu POPPA, 6).

HULL unternimmt den Versuch, eine geschlossene, logisch stringente Theorie des Lernens zu entwerfen, "a behavior system", wie er es selbst nennt. Er geht

dabei von meßbaren unabhängigen und abhängigen Variablen aus. Der Basisbereich seiner Theorie ist also durchwegs quantitativ erfaßbar.

Als unabhängige Variable treten z.B. auf :

Die Reize als physikalisch bestimmbare Größen; das Ausmaß der Triebstärke, das in Zeiteinheiten der Dauer des Deprivationszustandes gemessen wird (z.B. Nahrungsentzug); die Anzahl der bisherigen Belohnungen, die eine bestimmte Reaktion erfuhr und das Ausmaß dieser Belohnungen (z.B. Futtermenge). Daneben zählt auch die Arbeit, die zur Ausführung einer bestimmten Reaktion geleistet werden muß, zu den unabhängigen Variablen, ebenso die Stärke, mit der eine Reaktion auf einen bereits gelernten Reiz auftritt.

Als abhängige Variable und zugleich als Maße für die quantitative Bestimmung der Reaktion gelten die Reaktionslatenz, d.h. die Zeit vom Setzen des Reizes bis zum Auftreten der Reaktion, die Reaktionsamplitude und die Reaktionsfrequenz.

Weiter definiert HULL eine Reihe von hypothetischen Konstrukten, z.B. die "Habitstärke", ein Maß für die Stärke der Verknüpfung von Reiz und zugehöriger Reaktion im Organismus, d.h. ein Maß für die Tendenz eines Reizes, die ihm zugehörige Reaktion auszulösen. Oder das "Reaktionspotential", das sich aus mehreren Komponenten zusammensetzt, wie der momentanen Triebstärke, der Reizintensität, einer Anspornkomponente, die von der Größe der Belohnung ausgeht (z.B. Futtermenge) und der Habitstärke. Das Reaktionspotential bezieht also außer der "Stärke der Assoziation", der Habitstärke, noch motivationale Faktoren mit ein. Diese und noch etliche weitere hypothetische Konstrukte, deren Aufzählung den Rahmen des Berichts sprengen würde, bringt HULL in strenge funktionale Be-

ziehungen zu seinen meßbaren Variablen, so daß auch sie in Maßzahlen ausgedrückt werden können. Auch bei HULL sind diese hypothetischen Konstrukte zunächst ein notdürftiger Ersatz für eine explizite "molekulare" neurophysiologische Theorie.

Bevor jedoch die mathematischen Beziehungen zwischen Konstrukten und Variablen festliegen, vollzieht HULL einen methodischen Schritt, der seine experimentell gewonnenen Aussagen erst zu einem "System des Verhaltens" werden läßt. Er formuliert nämlich in 17 Postulaten und verschiedenen Corollarien die grundsätzlichen Beziehungen zwischen den hypothetischen Konstrukten untereinander sowie zwischen hypothetischen Konstrukten und Variablen. Nach HULLs Absicht sollen diese Postulate mit ihren Zusätzen, einem axiomatischen System vergleichbar, ausreichend und zugleich umfassend bezüglich des entsprechenden Wirklichkeitsbereiches sein.

Wir wollen aus der Fülle dieser Theoreme jene auswählen, die für das Ziel der vorliegenden Arbeit wesentlich erscheinen.

Durch Postulat III und Corollarium 2 werden Aussagen über die Wirkung der primären und sekundären Verstärkung gemacht.

Postulat III :

" Wenn eine Reaktion (R) eng mit den afferenten Begleiterscheinungen bzw., der Erregungsspur eines Reizes (s bzw. s') verbunden ist und diese Reiz-Reaktionsverbindung mit der raschen Verminderung eines Motivationsreizes (S_D oder s_G) einhergeht, dann hat dies eine Erhöhung der Tendenz dieses Reizes zur Folge, jene Reaktion auszulösen. " (zit.n. FOPPA, 6, S 340)

Auch ursprünglich neutrale Reize können bei wieder-

holtem Auftreten mit einer Verstärkung schließlich selbst die Rolle eines Verstärkers übernehmen (sekundäre Verstärkung , Corollarium 2).

Das Lernen von Verhaltenssequenzen wird im wesentlichen durch die folgenden Theoreme formuliert :

Je weiter die Glieder einer Verhaltenskette zeitlich von der Verstärkung, von der triebreduzierenden Endhandlung entfernt sind, desto schwächer ist die Wirkung dieser Verstärkung, die sich im Reaktionspotential des betreffenden Verhaltensgliedes niederschlägt . (Corollarium 3, 1.Teil - vgl. FOPPA, 6,S 344) Ähnlich wie bei THORNDIKE wird durch diese Aussage ein "spread of effekt" postuliert, der hier für die Endglieder der Verhaltenssequenz einen größeren Lerngewinn impliziert. Der sog. Zielgradient ist ein quantitativer Ausdruck für die Verminderung der Habitstärke mit der Verzögerung der Belohnung.

Auch HULL versucht nun wie THORNDIKE und GUTHRIE seiner Theorie eine Erklärungsmöglichkeit für zielantizipatorische und "einsichtige" Verhaltensweisen seiner Versuchstiere anzufügen. Dazu führt er den Begriff der antizipatorischen Zielreaktion ein. Es handelt sich um Reaktionen, die z.B. mit der triebreduzierenden Endhandlung in Zusammenhang stehen und die bei Vorhandensein eines Triebreizes bereits vor Erreichen des Ziels in Aktion sind, falls sie nicht mit gerade ablaufenden Reaktionen interferieren.

Die verhaltenssteuernde Funktion dieser antizipatorischen Zielreaktionen begründet HULL durch ein Erklärungsschema, das aus bereits vorher definierten Relationen deduziert werden kann :

"Corollarium 15 : Sekundäre Verstärkung durch partiell antizipierende Zielreaktionen (fractional antedating goal reactions).

Wenn ein Reiz (S) oder eine Reizspur (s) gleichzeitig

mit einer bisher neutralen Reaktion (R) auftritt und beide von einer antizipatorischen Zielreaktion (r_G) begleitet sind, dann führt der von dieser Reaktion (r_G) ausgelöste (propriozeptive) Reiz (s_G) aufgrund seiner sekundär verstärkenden Eigenschaften zu einer Verknüpfung von S und R."

(zit. n. FOPPA, 6, S350)

Die durch den Triebreiz ausgelöste antizipatorische Zielreaktion setzt also im Organismus verschiedene propriozeptive Reize (s_G), die infolge ihrer unmittelbaren Verbindung mit der Triebbefriedigung (als Teile der triebreduzierenden Endhandlung) für gerade in zeitlicher Kontiguität stehende Reiz-Reaktions-Paare verstärkend wirken (vgl. dazu Corollarium 2).

Ein Tier findet normalerweise mehrere verschiedene Wege zum Ziel, namentlich, wenn bereits gelernte Wege blockiert sind. Alle Verhaltenssequenzen, die ein Tier gelernt hat, um zur gleichen primären Triebbefriedigung zu gelangen, die demnach durch die gleiche antizipatorische Zielreaktion zusammengehalten werden, bezeichnet HULL als eine "Habitfamilie".

Die Wirkung des Zielgradienten begünstigt natürlich die kürzeren Verhaltenssequenzen einer solchen Habitfamilie (die wegen ihrer größeren durchschnittlichen Nähe aller ihrer Verhaltenspartikel zur Verstärkung besser gelernt sind).

Die antizipatorischen Zielreaktionen tragen also nicht nur zur Konsistenz der Verhaltenssequenzen bei, sondern sie sind darüberhinaus an der Konstruktion von ganzen Verhaltenssystemen beteiligt.

Aus diesen HULLschen Theoremen lassen sich Verhaltensprognosen hinsichtlich des Lernens von Sequenzen ableiten, deren wichtigste (nach EYFERTH, 5, S 107/108) folgende sind :

Unter mehreren möglichen Wegen zum Ziel wird der kürze-

stebevorzugt (Wirkung des Zielgradienten). Längere, nicht zum Ziel führende Fehlwege werden eher eliminiert als kürzere (da kürzere ja insgesamt eine größere Habitustärke besitzen). Fehler am Ende des Labyrinths werden eher eliminiert als solche am Anfang. Je mehr sich das Versuchstier dem Ziel nähert, desto besser funktioniert die Reaktionsabfolge, desto schneller läuft es.

Diese Voraussagen konnten in vielen Experimenten bestätigt werden, eine Tatsache, die uns berechtigt diesbezüglich von empirischen Gegebenheiten zu sprechen, auf die bei weiteren Modellkonstruktionen zunächst Bezug genommen werden kann.

Natürlich ist nicht nur das HULLsche Modell geeignet, solche Prognosen zu stellen. Je mehr die molekulare Theorienbildung der Lernforschung in eine molare übergeht, desto leichter scheint es zu sein, komplexere Verhaltensweisen in den Modellen unterzubringen. Der Nachteil solcher molaren Konzepte liegt jedoch gegenüber den relativ stringenten Deduktionen HULLs in ihrer Tendenz zur bloßen Deskription.

Die SKINNERsche Lerntheorie ist ein extremes Beispiel für diesen vorwiegend deskriptiven Behaviorismus. SKINNER unterscheidet zwischen reaktivem und operantem Verhalten. Für das erste können in jedem Fall spezifische Reize als Auslöser ausfindig gemacht werden, das letztere entsteht "spontan".

Wichtiger für komplexeres Verhalten sind die Operanten. SKINNER versteht darunter eine Klasse funktional gleichwertiger Handlungen (vgl. dazu FOPPA, 6, S 357). "Verstärker" einer Reaktion oder Aktion sind nach SKINNER alle Aspekte der Umwelt, von denen experimentell eruiert werden konnte, daß sie die Auftretenswahrscheinlichkeit von Verhaltensweisen erhöhen. Über den Verstärkungsmechanismus werden keine Aussagen gemacht (überhaupt enthält SKINNERS deskriptives

System keine intervenierenden Variablen bzw. hypothetischen Konstrukte). Wird ein Operant von einem verstärkenden Reiz gefolgt, so nimmt seine Stärke zu. Diese Aussage erscheint nach der obigen Definition des "Verstärkers" trivial.

Aus diesen kurzen Anmerkungen zum Modell Skinners ist bereits zu ersehen, daß er die Schwierigkeiten der molekularen Lerntheorien bei der Erklärung kohärenten und voraussichtigen Verhaltens von vornherein eliminiert durch die Einführung von globaleren Reaktionsklassen, den Operanten, deren Zusammenhang bereits definitorisch mit der Annahme funktionaler Äquivalenz gesichert ist.

Auch TOLMAN vertritt einen molaren Behaviorismus. Wie im Titel seines Hauptwerkes "Purposive Behavior in Animals and Men" angedeutet ist, geht er dabei sogar noch weiter als SKINNER, indem er auch seinen Versuchstieren so etwas wie das Erkennen von Bedeutungszusammenhängen zubilligt. Das Lernen z.B. von Labyrinthsituationen erklärt Tolman also nicht mehr durch ein mechanistisches Schema der molekularen Verknüpfung von Reiz- und Reaktionspartikeln, sondern durch die "kognitive Aktivität" seiner Versuchstiere. Ohne TOLMANs System nun eingehend darstellen zu wollen, seien nur einige charakteristische Annahmen herausgegriffen, die er durch geschickte Experimente eindrucksvoll belegen kann :

Versuchstiere im Labyrinth besitzen eine spezifische Lohnerwartung (reward-expectancy). Werden die dieser Erwartung entsprechenden Zielobjekte durch andere ersetzt, so wirkt dies auf das Verhalten desintegrierend (vgl. TOMAN, 30, S49). Zur Erreichung eines bestimmten Ziels orientieren sich die Tiere zunächst vorläufig und global an der Gesamtsituation. Diese vorläufige "kognitive Landkarte" (cognitive map) differenziert sich im Verlaufe der Versuchswiederholungen

durch die Bedeutungsgliederung der Situation (Lernen von "Zeichen") und die Akzentuierung der einzelnen Phasen des Gesamtablaufs. Es kommt zur Konstruktion einer Zeichen-Gestalt (sign-gestalt) der Situation und dies auch dann, wenn zunächst keine Belohnung erfolgt (latentes Lernen). Im Verlaufe von Versuchsreihen in der gleichen Situation lernen die Versuchstiere auch den Zusammenhang zwischen bestimmten eigenen Aktionen und den darausfolgenden Konsequenzen (means-end-readinesses). Es bildet sich also eine Art "Einsicht" in die Gesamtsituation, eine kognitive Struktur der Situation heraus (cognition).

Das TOLMANsche Konzept ist wohl die expliziteste Konzession des Behaviorismus an die Gestaltpsychologie. Während die "molekularen" behavioristischen Lerntheorien die Ganzheit und Geschlossenheit von Verhaltenssequenzen durch möglichst sparsame Zusatzannahmen ihren mechanistischen Konzepten einzuverleiben suchen und auch SKINNER , trotz einer prinzipiell molaren Betrachtungsweise noch mit Verhaltens-
e l e m e n t e n (auf einem anderen Abstraktionsniveau allerdings) operiert, postuliert TOLMAN von vornherein eine spontane organisatorische Tätigkeit seiner Versuchstiere, die die objektiv gegebene Organisation der Problemsituation widerspiegelt und zu einer Einsicht in die Bedeutung des eigenen Verhaltens bezüglich des zu erreichenden Ziels führt.

Genau dieses wird aber von der Gestaltpsychologie bei den klassischen (mechanistischen) behavioristischen Modellen vermißt. So interpretiert KOFFKA manche Lernkurven THORNDIKES (=Fehlerkurven), die nach längerem flachen Abfall plötzlich steil nach unten gehen und auch nach Versuchspausen nicht mehr ansteigen mit der plötzlichen Einsicht der Versuchstiere in die kritischen Momente der Problemsituation. KOFFKA sieht den Lernprozeß als Funktion

phänomenaler Veränderungen im Wahrnehmungsfeld.

"In den Lernversuchen organisieren sich das Wahrnehmungsfeld, und das motorische Verhalten des Tieres gleiche sich den Umzentrierungsprozessen im Wahrnehmungsfeld an. Der Neuorganisation des Wahrnehmungsfeldes gehe also eine Neuorganisation des Verhaltens zeitlich parallel " (zit. n. MÜLLER, 19, S 123). Auch KÖHLER , der durch seine Primatenversuche auf Teneriffa bekannt wurde, interpretiert die oft komplizierten Leistungen seiner Versuchstiere mit der Einsicht in einen neuen "Gestaltzusammenhang".

Der Gestaltbegriff taucht zunächst in der Wahrnehmungspsychologie auf (WERTHEIMER) und leistet dort bei der Erklärung von Scheinbewegungen (Phi-Phänomen) und geometrisch-optischen Täuschungen gute Dienste : Wahrnehmungsgegebenheiten werden nun nicht mehr als die Summe ihrer Einzelelemente verstanden, sondern als ein System, eine organisierte Ganzheit. Viele Gesetze wurden formuliert, in denen die Bedingungen, unter denen sich Wahrnehmungsgegebenheiten zu Gestalten organisieren, angegeben werden. Die bekanntesten dieser Gestaltgesetze sind "die Tendenz zur guten Gestalt" (Prägnanztendenz) und das Figur-Grundgesetz.

Gestalten besitzen die Eigenschaft, auch gegenüber erheblichen Veränderungen der Darbietungsbedingungen invariant zu bleiben (Konstanzprinzip- Transponierbarkeit).

Das Gestaltkonzept wurde von den Wahrnehmungsvorgängen zunächst auf Lern- und Denkvorgänge und schließlich auf die Gesamtheit der psychischen Erscheinungen (Ganzheitspsychologie) generalisiert. Bezüglich der uns hier interessierenden Lern- und Denkvorgänge liefert die Gestaltpsychologie einfache Erklärungsschemata : Es bereitet z.B. keine Schwierigkeiten, Umwegverhalten im Labyrinth bei Blockierung eines

gelernten Weges auf feldtheoretische Prinzipien zu reduzieren oder den Lerntransfer in ähnlichen Situationen durch die Transponierbarkeit der Problemgestalt zu plausibilisieren.

Die Schwächen des gestalttheoretischen Konzepts dürfen jedoch nicht übersehen werden : Die Erfassung der Lern- bzw. Denksituation geschieht generell durch deskriptive Termini, wodurch natürlich eine gewisse Dehnbarkeit und Uneindeutigkeit impliziert ist, selbst wenn man die LEWINSche 'Topologie zur Hilfe nimmt. Auf der anderen Seite wird über die eigentliche Organisationstätigkeit des Organismus keine explizite Aussage gemacht. Die Annahme hirnelektrischer Feldprozesse in Isomorphie zu den phänomenologisch erfaßten Strukturierungsvorgängen können darüber nicht hinwegtäuschen.

Diesen beiden Forderungen, die an eine umfassende Lern- und Denktheorie unbedingt zu stellen sind, wurde zwar von den molekularen behavioristischen Modellen besser Genüge geleistet, dort jedoch auf Kosten einer übermäßigen Strapazierung der Theorien bei der Erklärung komplexerer Verhaltensweisen.

Wir wollen nun im Folgenden eine Version des gestalttheoretischen Ansatzes etwas eingehender besprechen, die der Organisationsstätigkeit des Organismus bei der Strukturierung der Umwelt Beachtung schenkt und bei der Analyse dieser Tätigkeit eine formale Konsistenz vom Wahrnehmen bis zum Denken feststellt - es handelt sich um den operationalistischen Ansatz der PIAGETschen Schule (Kapitel III). - Die darauf folgende Diskussion eines kybernetisch-informations-theoretischen Modells zur Beschreibung kognitiver Prozesse wird Aufschluß über Methoden geben, die simultan sowohl die Quantifizierung der Lernsituation, zunächst im Ansatz, gestatten, als auch zur Analyse der "molekularen" Beschaffenheit kognitiver Prozesse beitragen.

III. Der operationalistische Ansatz PIAGETs

Die moderne Biologie konzipierte für die adäquate Beschreibung lebender Organismen die Modellvorstellung des "Fließgleichgewichts". Dieser Begriff wird zunächst materiell verstanden und meint die Austauschprozesse lebender Systeme mit ihrer Umwelt, die zu einer ständigen materiellen Erneuerung des gesamten Systems führen, ohne seine wesentliche Struktur grundsätzlich zu ändern. Von diesen materiellen Austauschprozessen nimmt PIAGET seinen Ausgang.

Er bezeichnet den durch den Organismus geleisteten Teil der Äquilibrierung als Assimilation; es handelt sich beim Verdauungsprozeß beispielsweise um die Umwandlung körperfremder Substanzen in körpereigene. Den von der Umwelt auf den Organismus einwirkenden Zwang, zur Erhaltung des Gleichgewichts in einer bestimmten Weise zu reagieren, nennt PIAGET Akkommodation. Diese Akkommodation verändert die Aktionsschemata für die Assimilation. Im Bereich der materiellen Austauschprozesse bleibt die Akkommodation ein sehr träger und nur innerhalb enger Grenzen möglicher Vorgang, der als Folge von Umweltveränderungen einsetzt. So sind z.B. die Verdauungsorgane bzw. die Steuerung des Stoffwechsels beim Menschen nur in geringem Maße auf neue Ernährungsbedingungen einstellbar, d.h. akkommodationsfähig, mit anderen Worten, die Assimilationsmöglichkeiten sind auf bestimmte Stoffe (z.B. Eiweiße, Fette, Kohlehydrate) eingeschränkt. Dieser Zustand der Anpassung, der sich im Verhältnis von Assimilation und Akkommodation ausdrückt, stellt nur ein relatives Gleichgewicht dar, nämlich ein Gleichgewicht unter der Bedingung der relativen Invarianz der Umwelt (z.B. relatives Gleichbleiben der Ernährungsbedingungen).

PIAGET überträgt nun dieses Schema Assimilation-

Akkommodation von den materiellen Austauschprozessen auf Anpassungsfunktionen jeder Art, wobei er betont, daß hier wie dort diese beiden Teilprozesse der Anpassung nur für die wissenschaftliche Analyse getrennt werden dürfen, realiter aber innig miteinander verflochten sind.

Die Beziehungen zwischen Assimilation und Akkommodation verändern sich je nach dem Reifegrad der betrachteten Funktion. Biogenetisch spätere Funktionen sind einem Gleichgewicht beider Partialprozesse näher als frühere (biogenetisch bedeutet dabei sowohl ontogenetisch als auch phylogenetisch). Ein vollkommenes Gleichgewicht zwischen Assimilation und Akkommodation (in Bezug auf eine bestimmte Funktion zu denken) wäre dann erreicht, wenn keine mögliche Umweltveränderung (relevant für diese Funktion) eine weitere Akkommodation notwendig machte, wenn also die Funktion im gesamten Bereich ihrer Zuständigkeit bereits akkommodiert, d.h. mit einem universellen Assimilationsschema ausgestattet wäre.

PIAGET widmete sich vor allem der Entwicklung der kognitiven Funktionen und konnte, angefangen bei den ersten Tastversuchen des Kindes bis zu den formallogischen Operationen und noch weiter bis zu den Makrofunktionen wissenschaftlicher Disziplin eine innige Kontinuität der Anpassungsprozesse nachweisen. Der Zusammenhang wird durch das Gesetz der zunehmenden Reversibilität (= Umkehrbarkeit) der Operationen als Abhängige des biogenetischen Entwicklungsstadiums der Funktion hergestellt.

Der Reversibilitätsgrad beschreibt die rein formale Seite der Operationen. Hand in Hand mit seiner Steigerung vollzieht sich eine "Verinnerlichung" (man könnte auch sagen Cerebralisierung) der ursprünglich motorischen Tätigkeiten. Der Ablauf der Operationen nimmt dabei an Geschwindigkeit zu und, was sehr

wichtig ist, an Flexibilität und Allgemeinheit. Das heißt in der obigen Terminologie : die Assimilations-schemata einer Funktion werden mit zunehmender Reversibilität und Verinnerlichung der Operationen allgemeiner und erweisen sich als immer umfassender akkommodiert.

Von Bedeutung ist dabei, daß die Operationen dennoch effektive Operationen bleiben, daß also auch logisches Schließen auf tatsächlicher verinnerlichter Tätigkeit beruht, eine Tatsache, die PIAGETS Theorie zu einer operationalen macht (im Gegensatz zu strukturalen z.B. feldpsychologischen kognitiven Theorien).

Wie sieht nun diese zunehmende Reversibilität der intellektuellen Operationen im einzelnen aus, wie vor allem kommt es zu jener Verknüpfung eines kausal bestimmten motorischen Vollzugs mit logischem Schließen, dessen Gültigkeit doch angeblich in jeder möglichen Welt besteht (HUSSERL) , dessen formales Gerüst als ideale Konstruktion vom Menschen unabhängig existieren soll (RUSSELL)?

Begeben wir uns zunächst auf das Niveau primitiver organischer Tätigkeit und einfacher motorischer Vollzüge.

PIAGET sieht in der rhythmischen Bewegung bereits erste Ansätze zur Reversibilität, zur Umkehrbarkeit der Operationen; d.h. die Operation ist bestrebt, den Ausgangspunkt wieder zu erreichen, um dann von neuem zu beginnen. Formal : Die Operation verwandelt Zustand A in Zustand B : $A \rightarrow B$. Um wieder zu Zustand A zurückzugelangen wird jedoch eine weitere, entgegengesetzte Operation $B \rightarrow A$ notwendig. Es handelt sich hier um zwei voneinander getrennte Abläufe, die formal die Reversibilität konstituieren, jeder Vorgang für sich bleibt jedoch irreversibel.

Auch die elementaren Empfindungseinheiten, beispielsweise ein lichtempfindliches Netzhautelement, funktionieren nach jenem rhythmischen Gesetz (Zersetzung einer lichtempfindlichen Substanz, Wiederherstellung usw.).

Der Wahrnehmungsvorgang, bleiben wir beim Beispiel des optischen Sinns, findet nun auf höherer Ebene statt : Er koordiniert die elementaren Empfindungsrhythmen zu Systemen wechselseitiger Abhängigkeit, die äußerer Akkommodationswirkung zugänglich sind. Der Gesamtkomplex der Wahrnehmungsbeziehungen verhält sich jedoch träge gegenüber Modifikationen des Wahrnehmungsraumes : Das System tendiert dazu, im Ausgangsstadium zu verharren.

Dieses Ausgangsstadium ist ein momentaner Gleichgewichtszustand, der durch die externe Modifikation gestört wird. Durch die Änderungsresistenz der Wahrnehmungssysteme entstehen die optischen Täuschungen (die PIAGET einer eingehenden Analyse unterzieht). Wird das Ereignis, das zum Zustandekommen solcher Verzerrungen führt, jedoch in seinem objektiven Ausmaß gesteigert, so erreicht die Verzerrung einen Punkt, an dem sie ins Gegenteil umspringt : Die Überschätzung einer Größe z.B. verwandelt sich in eine Unterschätzung. Überschätzung und Unterschätzung ergänzen sich wiederum zu einer formal reversiblen Gesamtkomposition, bleiben als Komponenten jedoch irreversibel.

Motorik und Wahrnehmung, die bisher getrennt behandelt wurden, sind beim Kleinkind noch undifferenziert und eingeschmolzen in das sogenannte sensumotorische Assimilationsschema. Diese Schemata der sensumotorischen Epoche unterliegen im Laufe der Entwicklung einer fortschreitenden Differenzierung durch die Akkommodation an ständig wechselnde Umweltverhältnisse und werden zunehmend flexibler und allgemeiner. Doch noch immer wird der Aktionsraum des Kindes durch die Assi-

milation an die Eigentätigkeit verzerrt : Ein und derselbe Gegenstand wird in Abhängigkeit von der Perspektive der Betrachtung zu verschiedenen Gegenständen. Die eigene Position im Raume wird egozentrisch überbewertet.

Allmählich lernt das Kind jedoch, von der eigenen Position zu abstrahieren; die eigenzentrierte Raumfassung weicht einer dezentrierten. Das Kind kann hypothetisch, "virtuell", eine andere Position einnehmen, ohne seine tatsächliche Stellung aufzugeben, d.h. es bezieht in die virtuelle Bewegung von der augenblicklichen Stelle den Ausgangspunkt mit ein. Die virtuelle Transformation der eigenen Person geschieht also relativ zur Ausgangsposition und bleibt sich dieser Position ständig bewußt.

Man kann dies auch so formulieren : Jeder virtuellen räumlichen Operation von einem bestimmten Punkt des Raumes weg läuft parallel eine inverse, reziproke Operation zum Ausgangspunkt zurück. Die eigene Position wird relativiert. Die räumlichen Beziehungen, zu deren Bewußtheit das Kind in diesem Stadium gelangt, sind also nichts anderes als das Ergebnis ursprünglich motorischer Tätigkeiten (beispielsweise der tatsächlichen Fortbewegung der eigenen Person), die sich im Laufe der Entwicklung zu bloß virtuellen Aktivitäten verinnerlichten und dabei voll umkehrbar, d.h. verzerrungsfrei wurden. Ein Gegenstand wird unabhängig von der räumlichen Position des Betrachters als ein und derselbe erlebt; er entsteht als der Schnittpunkt einer Vielzahl von Tätigkeiten und wird zur Konstanten dieser nunmehr virtuellen Operationen, d.h. er kann an mehrere Tätigkeiten assimiliert werden, ohne sich zu verändern. Umgekehrt sind zur verzerrungsfreien Erfassung von Gegenständen und Bewegungen im Raume hinfort keine weiteren Akkommodationen der Assimilationsschemata mehr nötig.

Beide Partialprozesse befinden sich im Gleichgewicht. Anstatt einer Vielzahl von Assimilationsschemata existiert nur noch ein räumliches Operationsschema, repräsentiert durch ein System aufeinander bezogener und reversibler virtueller Operationen. Jede geplante oder durchgeführte räumliche Transformation wird gleichzeitig durch das Bewußtsein des reziproken Prozesses auf ihren Ausgangspunkt zurückbezogen und ergibt formal betrachtet den Gesamtwert 0 .

Dies gilt nicht nur für eine Operation, sondern für das gesamte System, das demzufolge die Gesamtkomposition 0 ergibt und eine stabile Gleichgewichtslage innehat.

Ein System koordinierter Operationen wird in Analogie zu mathematischen Systemen mit ähnlichen Eigenschaften mit POINCARÉ als "Gruppe" bezeichnet, bezüglich der räumlichen Operationen als "Gruppe der Ortsveränderungen".

Die "Gruppe der Ortsveränderungen" verkörpert den höchsten Entwicklungsstand der in der sensumotorischen Phase erreicht werden kann. Es folgt das Stadium des symbolischen Denkens mit vorbegrifflichen Transduktionsschlüssen und schließlich das Stadium des "anschaulichen Denkens".

Das Denken ist in diesen Stadien noch stark an optische Tätigkeiten assimiliert. Es fehlt beim Vergleich von Mengen in verschieden geformten Behältern die gleichzeitige Koordination der Veränderung mehrerer Dimensionen. Die Menge wird beispielsweise mit einer einzigen Dimension gleichgesetzt (von zwei Behältern gleichen Volumens enthält der längere mehr Perlen als der kürzere u.ä.).

Auch hier wird das Gleichgewicht wiederum durch die Gruppierung der anschaulichen Operationen erreicht, als deren Konstante sich die Erhaltung der Menge erweist. Die Abschätzung der Dimensionen, die eine Men-

ge definieren, werden aufeinander bezogen und in sich selbst umkehrbar : Es wird erkennbar, daß verschiedene Anordnungen einer Menge nicht deren quantitativen Aspekt verändern.

In der Folge entwickeln sich aus den koordinierten konkreten Operationen der praktischen intellektuellen Vollzüge bei den intelligenten Individuen formale Denkleistungen, die vom konkreten Inhalt der Operationen abstrahieren und die die höchst mögliche Form der intellektuellen Vollzüge darstellen.

Sowohl konkrete als auch formallogische Denkopoperationen gehorchen den Gesetzen, die wir schon bei ontogenetisch früheren Gleichgewichtssystemen fanden: Sie sind ideal reversibel und als System vom stabilen Gesamtwert 0.

Die aus den formalen Operationen ableitbaren mathematischen Operationen lassen besonders deutlich die Eigenschaften von "Gruppen" hervortreten. Sie sind Ausdruck der Gleichgewichtsbedingungen und formalisieren diese zugleich.

Jede Zahl im mathematischen Sinn gibt an, wie oft die Einheitsmenge reproduziert (iteriert) werden soll, um zu einem bestimmten Punkt der Zahlengeraden zu gelangen; sie impliziert jedoch gleichzeitig die inverse Operation, indem sie während der direkten Operation des Iterierens auf den Ausgangspunkt der Menge 0, den Nullpunkt der Zahlengeraden bezogen bleibt, d.h. die Möglichkeit der Operation $+x -x = 0$ einbegreift.

Jede algebraische Operation beruht auf der Definition dieser reversiblen Grundbeziehung, bzw. ist auf diese reduzierbar. Das gesamte System der Mathematik erweist sich so als ein System idealreversibler Operationen vom Gesamtwert 0.

Den gleichen Gesetzmäßigkeiten gehorcht das System logischer Operationen.

Die Reversibilität des logischen Denkens muß vornehmlich in seiner Möglichkeit gesehen werden, gegebene Anordnungen und Beziehungen von Elementen aufzuheben, rückgängig zu machen, durch inverse Operationen zu neutralisieren und neue hypothetische Anordnungen zu konstruieren. Diese Manipulationen können völlig losgelöst sein von tatsächlichen Gegebenheiten, im Gegensatz zur Wahrnehmung, die in großem Umfang von der externen Reizgrundlage gesteuert wird.

Damit sei diese knappe Darstellung der PIAGETschen Theorie kognitiver Prozesse abgeschlossen. Bei aller Kritik, die diesem System und seinen experimentellen Belegen anzufügen wäre (siehe u.a. AEBLI , 1) ermöglichen die PIAGETschen Gedankengänge im Ansatz eine Synthese zwischen den unvereinbar scheinenden behavioristischen und kognitiven Versionen der Lern- und Denkprozesse.

PIAGET reduziert die von den Gestaltpsychologen geforderte Einheitlichkeit der Organisationstätigkeit des Organismus von den Wahrnehmungs- bis zu den Denkfunktionen auf die Dimension der Reversibilität. Am unteren Ende der Reversibilitätsskala stehen rhythmische Prozesse, die an irreversible materielle Modifikationen gebunden sind (physiologische Abläufe), am oberen Ende die logischen Gruppierungen mit idealer Reversibilität. Vorgänge, die mit dem Reversibilitätsgrad der kognitiven Tätigkeit in enger Korrelation stehen sind : Die Verinnerlichung (Cerebralisierung) der Operationen und die Verlagerung der kognitiven Aktivität von der Akkommodation hin zur Assimilation. Der letztere Übergang ist zugleich Ausdruck einer zunehmenden Anpassung des internen Umweltmodells des Organismus an die Struktur der Umwelt. Akkommodation

und Assimilation konstituieren jedoch jedes kognitive Geschehen. So ist die Assimilation bereits wesentlich bei jenen sensumotorischen Verhaltenssequenzen beteiligt, die Gegenstand der behavioristischen Lerntheorien sind. PIAGET zeigt für die entsprechende Phase der menschlichen Ontogenese, daß selbst bei einfachsten Vollzügen sog. Implikationen (CLAPARÈDE) wirksam sind, Assimilations-schemata, die die Einordnung neuer Elemente "steuern". Auch für Versuch- und Irrtum-Verhalten muß bereits die Existenz von Organisationsschemata gefordert werden; "... auch die ersten Versuche selber lassen sich nur schwerlich auf einfachen Zufall zurückführen. D.K.ADAMS findet in den Labyrinthexperimenten schon von Anfang an ausgerichtete Bewegungen. W.DENNIS und später I.DASHIELL betonen das Weiterführen der ursprünglich angenommenen Richtungen, TOLMAN und KRECHEWSKY sprechen sogar von Hypothesen bei der Beschreibung der Bewegungen der Ratten .." (PIAGET, 20, S 141).

Die Akkommodation, d.h. die durch die spezifische Umwelt diktierte Modifikation der bereits vorhandenen Assimilationsschemata, überwiegt natürlich in der sensumotorischen Phase im allgemeinen das bloße Assimilationsgeschehen, mit anderen Worten, das Ausprobieren von bestimmten Verhaltensschemata kennzeichnet normalerweise die Konfrontation von Organismen mit neuen Situationen. Das gilt für das Kind in einer bestimmten Entwicklungsphase, wie für das Tier. Aus diesem Grund konnten auch die molekularen Lerntheorien trotz mechanistischer Postulate zu brauchbaren Ergebnissen gelangen, solange sie sich mit elementaren Anpassungsvorgängen beschäftigten. Der Mensch gelangt in der sensumotorischen Phase zur Konstruktion der Gruppe der Ortsveränderungen, einer ideal reversiblen Raumorientierung. Ob eine gleiche Leistung auch bei höheren Wirbeltieren angenommen werden kann ist umstritten; sicher ist jedoch, daß bereits Tiere auf der Entwicklungsstufe von Ratten fähig sind, für spezifische Versuchssituationen eine Art unbewußter Raumorientierung

zu erlangen, die sogar auf ähnliche Situationen übertragbar ist (TOLMAN!).

Auf der Stufe des logischen Denkens wird die Akkommodationswirkung soweit reduziert, daß die durch die Umwelt gesteuerte Gewichtung von Fakten und Faktenbeziehungen aufgehoben (ideale Reversibilität !) und durch andere Gewichtungen ersetzt werden kann. Das "verinnerlichte Probehandeln" und die Konstruktion von Neukombinationen der Fakten (produktives Denken) sind auf diese Weise möglich geworden.

Die PIAGETsche Theorie ist deskriptiv, und sie wird auch solange deskriptiv bleiben, bis die psychophysiologischen Grundlagen der kognitiven Organisationstätigkeit analysiert werden können.

Ansätze zu einer solchen Analyse werden im nächsten Kapitel zu diskutieren sein.

IV. Die informationspsychologische Analyse kognitiver Prozesse

Da die vorliegende Arbeit sich mit der Deduktion eines informationstheoretischen Modells beschäftigt, soll die kybernetisch-informationstheoretische Erklärung kognitiven Geschehens etwas eingehender als die bisherigen Konzeptionen zur Sprache kommen.

Nach einer kurzen Demonstration der prinzipiellen Anwendbarkeit kybernetischer und informationstheoretischer Modellvorstellungen auf kognitive Prozesse (Kapitel III/1a) und b)) werden grundlegende Untersuchungen zur Relevanz des Kanalmodells und des Informationsmaßes für die Psychologie der kognitiven Prozesse referiert (Kapitel III/2).

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen legen es nahe, Wahrnehmungs-Lern - und Denkprozesse unter zumindest formal einheitliche Prinzipien zu subsummieren.

Eine Redundanztheorie kognitiver Prozesse wird deshalb in Kapitel III/3 in den Grundzügen dargestellt. Da die formale Einheitlichkeit kognitiven Geschehens bereits im PIAGETschen Modell gefordert wird, ergibt sich von selbst eine Gegenüberstellung beider Konzepte, ja sogar eine weitgehende Synthese der Betrachtungsweisen oder besser verschiedener Aspekte des gleichen Geschehens im PIAGETschen Assimilations-Akkommodationsschema.

1. a) Die Interpretation kognitiver Prozesse als Regelvorgang

Man hat in der Gleichsetzung des Menschen mit einem Automaten (z.B. bei STEINBUCH , 27) bzw. mit einem nach technischen Funktionsprinzipien arbeitenden System oft die Realisierung einer materialistischen

Grundidee gesehen.

Diese Schlußfolgerung basiert auf einem grundsätzlichen Mißverständnis bzw. auf der Mißachtung anthropologischer Zusammenhänge. Im Wesen des Menschen liegt es, so GEHLEN, " sich in die Natur hinein auszulegen und sich von daher wieder zurückzuverstehen." (11, S18) In weniger konzentrierter Form heißt das, daß der Mensch längst Werkzeuge und Maschinen gemäß intuitiv erfaßten organischen Gesetzmäßigkeiten konstruierte, bevor er die diesen Geräten implizite Logik in seinem eigenen Bauplan entdeckte: Sich selbst regulierende Maschinen waren bereits lange bekannt, als der Mensch begriff, daß das solchen Maschinen immanente Rückkoppelungsprinzip in seiner einfachsten Form bedeutet, daß das Verhalten auf sein Ergebnis hin geprüft wird und daß der Erfolg oder Mißerfolg dieses Ergebnisses das zukünftige Verhalten beeinflusst (vgl. WIENER, 31), daß dieses Rückkoppelungsprinzip also auf das komplexeste Tun des Menschen angewandt werden könne.

Die Betrachtung des Menschen als maschinenähnliches kompliziertes Steuerungs- bzw. Regelungssystem entspringt also nicht einer materialistischen Pauschalphilosophie, sondern muß vielmehr, wenn man GEHLEN glauben darf, als der notwendige Endpunkt einer Entwicklung gesehen werden, die bei der Erfindung selbstregulierender Maschinen begann, einer Erfindung, die schon unbewußt die Gesetze des eigenen Handelns vorwegnahm und modellhaft explizierte. In welchem Grade unbewußt dieses Vorgehen der menschlichen Einsicht blieb, mag man an der Sensation sehen, die die regeltechnische Analyse verschiedener menschlicher Funktionen auslöste.

Inzwischen ist jedoch diese revolutionierende Idee zur Selbstverständlichkeit geworden und das kybernetische Denken hat offiziell Eingang gefunden, auch

in biologische und sozialwissenschaftliche Disziplinen.

Die Allgemeinheit des Rückkoppelungsprinzips wird im Verlaufe dieser Entwicklung bei der Definition des Begriffes Kybernetik zunehmend akzentuiert. So definiert WIENER : " Wir haben beschlossen, das gesamte Gebiet der Regelungstechnik und der Informationstheorie, ob bei Maschine oder Lebewesen, mit dem Namen Kybernetik zu belegen." (31).

POLETAJEW konzipiert die Kybernetik als "Wissenschaft von den Steuerungsprozessen und den Prozessen der Signalübertragung in Maschinen und Lebewesen." (21) An anderer Stelle fährt POLETAJEW fort : " Der Wert der kybernetischen Begriffe besteht jedoch größtenteils darin, daß sie es ermöglichen, das Allgemeine in den verschiedenartigsten Erscheinungen zu erkennen und sehr weit voneinander entfernte Wissensgebiete gegenseitig zu bereichern." (21)

Dieser Zusatz weist bereits auf eine Erweiterung des ursprünglichen Bereiches der Kybernetik hin, auf eine Ausdehnung ihres Anspruches auf die Modell- und Theorienbildung schlechthin. Die Kybernetik behandelt nicht mehr nur Probleme, die mit Regelungsprozessen und der Informationsübertragung in Regelkreisen zusammenhängen, sondern sie analysiert die formalen Aspekte verschiedener aber strukturell verwandter Wirklichkeitsbereiche. Regelungsprozesse sind nur einer von vielen möglichen Aspekten, unter denen jene verschiedenen Wirklichkeitsbereiche zueinander in Beziehung gesetzt werden können. So definiert KLAUS Kybernetik als "Wissenschaft von den möglichen Verhaltensweisen möglicher Strukturen", wobei diese Strukturen dynamisch sein sollen, d.h. in zeitabhängige Prozesse eingebettet. (15) Es ist nach dieser Definition nicht mehr notwendig, daß be-

stehende kybernetische Konzeptionen tatsächlich in irgendeinem Wirklichkeitsbereich realisiert sind, es genügt, daß sie im Rahmen kybernetischer Gesetzmöglichkeit denkmöglich sind.

Die allgemeinste Fassung erreicht eine kybernetische Konzeption in der mathematischen Formulierung. Sie ist dann formal von konventionellen mathematischen Modellen nicht zu trennen; der spezifische Unterschied besteht allein in der Tatsache, daß das kybernetische Modell mehreren inhaltsgebundenen theoretischen Systemen gemeinsam ist. V.CUBE sieht in der Kybernetik - und dies ist vielleicht die umfassendste Definition - eine Wissenschaft zur Erforschung, Darstellung und Konstruktion von solchen Modellen (4). Modelle sind bei ihm Realisationen mathematischer Theorien nicht nur in gegebenen, sondern auch in konstruierten Wirklichkeitsbereichen. Die technische Simulation einer formalisierten Verhaltenstheorie wäre ein Beispiel für die Realisation eines mathematischen Konzeptes in einem konstruierten Wirklichkeitsbereich.

Trotz der definitorischen Expansion der Kybernetik sind Regelungsprozesse und Informationsübertragung in Regelkreisen vorerst der Hauptgegenstand dieser Wissenschaft.

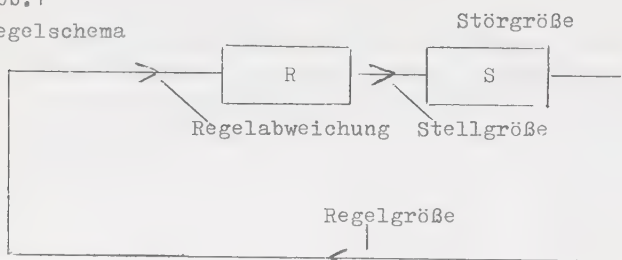
Wie schon erwähnt, wurde das Rückkoppelungsprinzip zuerst im Bereich der Technik angewandt und zwar aus der praktischen Notwendigkeit heraus, veränderliche Größen unabhängig von Störeinflüssen zu machen. Eine technische Realisation dieser Vorstellung ist beispielsweise der in diesem Zusammenhang schon populär gewordene Thermostat.

Dieses Gerät soll die Temperatur in einem Raum konstant, d.h. auf einem festgelegten sog. Sollwert halten. Die Raumtemperatur wird als Regelgröße bezeichnet.

net. Weicht der sog. Istwert, der aktuelle Wert der Regelgröße, vom Sollwert ab (=Regelabweichung), so reagiert das System mit einer geeigneten Verschiebung des Stellgliedes, um diese Abweichung zu kompensieren. Auf den Thermostaten bezogen heißt das, liegt die aktuelle Raumtemperatur z.B. niedriger als der Sollwert, so ist der die Isttemperatur erfassende Meßfühler derart mit dem Stellglied gekoppelt, daß eine erhöhte Wärmezufuhr erfolgt. Das Stellglied steht also mit der Energiezufuhr in Verbindung; ihm kommt jeweils eine bestimmte Stellgröße zu, die die Regelstrecke beeinflusst.

Abb.1

Regelschema



R = Regler

S = Stellglied

Liegt der Sollwert, auch Führungsgröße genannt, bei einem Regelsystem über längere Zeit fest (z.B. beim Thermostaten), so spricht man von einem Festwertregler, bei veränderlicher Führungsgröße von Folgereglern (z.B. automatische Flugabwehr).

Charakteristisch für alle Regelprozesse ist der kreisförmige Informationsfluß, das Prinzip der Rückkoppelung der Ausgangsgröße eines Übertragungssystems auf den Eingang desselben. Die Rückkoppelung muß negativ sein, d.h. ein Anwachsen der Regelgröße über die Führungsgröße hinaus wird nach der Rückmeldung kompensiert, ebenso ein Absinken der Regelgröße unter den Sollwert. Die Stellgröße wirkt also immer

einer Veränderung der Regelgröße relativ zur Führungsgröße entgegen.

Auf den menschlichen Organismus übertragen liefert dieses Muster der negativen Rückkoppelung eine Fülle neuer und besserer Erklärungsmöglichkeiten, vor allem bei den komplexen organischen Steuerungsvorgängen zunächst, die von Biologie und Physiologie behandelt werden.

Eines der einfachsten und populärsten Beispiele ist der Rückmeldekreis des Patellarsehnenreflexes. Der Schlag mit dem Reflexhammer auf die Kniesehne führt bekanntlich zu einem Ausschlagen des Beines nach vorn. Die durch den Hammerschlag bewirkte Dehnung des Muskels erregt die dehnungsempfindlichen Rezeptoren im Muskel, die sog. Muskelspindeln. Diese sind nervös über das Rückenmark mit efferenten motorischen Nervenfasern verbunden und lösen aufgrund der Muskeldehnung eine diese kompensierende Kontraktion aus.

Komplexere, oft mehrfach ineinandergeschachtelte Regelkreise im menschlichen Organismus dienen beispielsweise der Konstanthaltung der Körpertemperatur, des Blutzuckerspiegels, des Sauerstoffgehaltes im Blut usw.

Sehr viel Aufsehen erregten die Untersuchungen des Zoologen V. HOLST, der mit Hilfe seines Reafferenzprinzips eine Forderung der klassischen Physiologie widerlegte, nämlich, daß die Rezeptoren irgendwelcher Sinnesorgane zentral die gleichen Erregungsmuster liefern, wenn einmal ein diese Organe affizierender Gegenstand aktiv, ein andermal passiv bewegt wird. V. HOLST bezeichnet alle Impulse, die im Organismus von der Peripherie zum Zentrum laufen als Afferenzen, alle die Motorik in Gangsetzenden als Efferenzen. Er differenziert weiter zwischen Afferenzen, die aus der Muskulatur kommen und solchen, die Außenreizen zuzuordnen sind; erstere heißen Reafferenzen, letztere Exafferenzen. Es wird nun im Zentralnervensystem ein

Verrechnungsmechanismus angenommen, der den Organismus darüber informiert, ob ein Erregungsmuster durch die eigene Bewegung oder durch die Umgebung bewirkt wurde. Jede Efferenz, so wird postuliert, hinterläßt in diesem Zentrum eine "Kopie" ihrer selbst, die, wie auch immer geartet, ihr Negativ sein müßte. Die Efferenz setzt die Motorik in Gang und aus den motorischen Endorganen wird gleichzeitig die Reafferenz zurückgesendet. Diese Reafferenz repräsentiert das Positiv der efferenten Information. Sie überlagert sich der negativen Efferenzkopie und löscht diese bei Übereinstimmung beider Informationsmuster aus.

Bewegt sich also beispielsweise das Auge oder der Kopf, so wird die gegenläufige Bewegung des Netzhautbildes in der negativen Efferenzkopie vorweggenommen. Die Rückmeldung von der effektiven Bewegung des Netzhautbildes überlagert sich der Efferenzkopie und löscht sie aus. Bewegt sich aber über die Eigenbewegung des Auges hinaus der betrachtete Gegenstand, so decken sich Efferenzkopie und Reafferenz nicht mehr; das Quantum an "nicht erwarteter" Bewegung des Gegenstandes wird an höhere Zentren als Exafferenz weitergeleitet.

Experimentell läßt sich dieses Modell durch viele Versuche bestätigen.

Die V.HOLSTschen Erklärungen verschiedener Wahrnehmungsphänomene erscheinen uns zwar einsichtig, sie machen jedoch Annahmen, die im Augenblick noch unkontrollierbar; einer "black box" vergleichbar sind. Wahrnehmungsprozesse sind eben mit der höheren Nerventätigkeit bereits in einer Weise verknüpft, daß sie die einfachen, in jeder Phase anatomisch auffindbaren Rückkoppelungssysteme der Eigenreflexe z.B. in hohem Maße an Komplexität übertreffen.

Noch abstrakter und hypothetischer sind die kybernetischen Modelle für die Tätigkeit des Gehirns, für Lernen und Denken, für "Erkennen" generell.

Ohne auf die kybernetische Erkenntnistheorie, die u.a. von KLAUS konzipiert wurde, einzugehen, möchte ich, nur zum Zwecke der Demonstration, ein sehr vereinfachendes kybernetisches Modell eines erkennenden und lernenden Systems anführen.

Das Modell ist sehr allgemein gehalten, jedoch nur teilformalisiert. Mögliche Realisierungen dieses Modells könnten auf technischem Gebiet der entsprechend konstruierte Wirklichkeitsbereich eines lernenden Automaten sein oder auch bei weiterer erheblicher Komplizierung des Modells auf psychologischem Gebiet der menschliche Erkenntnisapparat.

STEINBUCH, der dieses Modell diskutiert (27), sieht in ihm vor allem die schematische Grundstruktur einer erkennenden Maschine.

Der Automat besitzt einen sog. Optimalwertkreis, der aus Testwertgeber, Speicher und Bewertungsschaltung besteht. Erfordert eine genau definierte Umweltsituation eine Reaktion dieses technischen Systems, so wird diese Situation am internen Modell der Umwelt reproduziert. Der Testwertgeber simuliert die potentiellen Reaktionen des Systems, die der Einfachheit wegen nur als systematisch variierte Größe x zu denken sind. Jedem dieser x -Werte ordnet die Bewertungsschaltung den entsprechenden B -Wert zu, der den Erfolg der potentiellen Reaktion in der simulierten Umwelt repräsentiert. Das Maximum der Funktion $B = f(x)$, die im Speicher fixiert wird, liegt bei einem Wert x_{opt} , der die optimale der potentiellen Reaktionen kennzeichnet. Diese wird realisiert.

Die für biologische Systeme noch sehr primitiv anmutende Schematisierung kann dahingehend kompliziert

werden, daß man die Variabilität des internen Umweltmodells in das Schema miteinbezieht : Dazu ist ein zweiter, übergeordneter Optimalwertkreis erforderlich, dessen Testwertgeber das interne Modell systematisch variiert. Für jeden Modellwert m des zweiten Kreises, durchläuft der Testwertgeber des ersten Optimalwertkreises sämtliche Werte x . Das zum jeweiligen m gehörige x_{opt} , die bezüglich des gegebenen Modells optimale Reaktion also, wird realisiert. Die Bewertungsschaltung des zweiten Optimalwertkreises, die sog. Modellbewertungsschaltung, die als wesentlichsten Bestandteil die Umwelt enthält, stellt die Abweichung des realen Erfolges der Aktion x_{opt} in der Umwelt von dem, aufgrund der internen Antizipation erhaltenen Erwartungswert fest. Ist diese Abweichung A ungleich 0, so bedarf das interne Modell einer Verbesserung. Der Testwertgeber des zweiten Optimalwertkreises leitet dem ersten Optimalwertkreis einen weiteren "Modellwert" m zu, dessen Tauglichkeit, d.h. dessen Abweichungen von den realen Umweltgegebenheiten auf die eben genannte Art überprüft wird.

Der Speicher des zweiten Optimalwertkreises erhält so für jeden Modellwert m eine entsprechende Modellabweichung A , so daß die Zuordnung $A = f(m)$ zustandekommt. Das Minimum dieser Funktion ist der für die augenblickliche Umweltbeschaffenheit optimale Modellwert m_{opt} .

Das interne Modell der Umwelt braucht, wie die Ableitung schon zeigt, nicht notwendig identisch zu sein mit der Gesamtheit der situationalen Gegebenheiten. Es sollte die für die momentanen Intentionen des Systems wesentlichen Variablen erfassen. Wir können annehmen, daß der zweite Optimalwertkreis Modellwerte liefert, die immer aus der gleichen Umweltfaktorenkomplexion bestehen, die sich nur in der Gewichtung dieser Faktoren unterscheiden.

Ein dritter Optimalwertkreis könnte dann die Aufgabe übernehmen, auch noch die Strategie für die Auffindung des Modellwertes m_{opt} zu variieren. Er liefert dem Automaten Strategiewerte s , mittels derer jeweils m_{opt} eruiert werden soll. Die Zeit T , die dafür benötigt wird ist s zuzuordnen, so daß die Funktion $T = f(s)$ erzeugt wird. Das Minimum dieser Funktion kann als Indikator für die wirkungsvollste Strategie s_{opt} des Automaten gelten.

Man sieht, daß dieses einfache Schema leicht zu komplizieren und fortzusetzen ist: Ließe man den Automaten für viele Situationen die geeignetste Strategie feststellen und könnte man ihn dazu bringen, die verschiedenen Strategien kohärenter und ökonomischer zu speichern, so könnte man hoffen, daß er vielleicht von selbst auf das logische Denken als kohärenteste Invariante seiner strategischen Bemühungen stieße.

Wollen wir die Utopie hier abbrechen.

Das geschilderte Modell ist sicherlich zu grob, um eines Tages in gehirnanatomischen und physiologischen Termini interpretiert zu werden. Es sollte im vorliegenden Zusammenhang nur dazu dienen, die prinzipielle Brauchbarkeit solcher progressiven Approximationen komplexer organischer Zusammenhänge zu demonstrieren. Der lernende Automat könnte vielleicht als ein Blockschaltbild von Instanzen des Erkenntnisprozesses verstanden werden, deren Existenz nicht grundsätzlich geleugnet werden kann.

So gibt es sicherlich das interne Probehandeln in Problemsituationen, die Manipulation des internen Modells also, es gibt so etwas wie eine Modellbewertungsinstanz und die Auswahl optimaler Strategien.

Jedoch ist kaum anzunehmen, daß eine Reihe von Handlungen in einer bestimmten Situation zureichend durch eine monoton wachsende Quantität x beschrieben werden können oder daß die Modellabweichung einer einfachen Größe A gleichzusetzen sei. Hier fehlt also noch eine genauere Kennzeichnung dessen, was das System überhaupt verarbeitet, was es speichert, was es an die Effektoren übergibt. Es fehlt, um es kybernetisch auszudrücken, eine Charakterisierung der Informationsverarbeitungsprozesse.

b) Die Quantifizierung der Information

Die Informationsübertragung ist für Rückkoppelungssysteme von grundsätzlicher Bedeutung. Schon allein die Geschwindigkeit, mit der eine Information über die aktuelle Regelgröße an den Regler und die Reglerinformation an das Stellglied weiterläuft, ist von entscheidender Wichtigkeit für die Stabilität eines Regelsystems, für seine Reagibilität bezüglich Veränderungen. Diese Übertragungsgeschwindigkeit erweist sich u.a. als abhängig von der Beschaffenheit der "Sprache", in der die Information gesendet wird. Die Sprache ist der jeweilige Träger der Information. Ihr Alphabet kann aus nur zwei verschiedenen Zeichen bestehen, wie z.B. die Morse-sprache oder die Sprache digitaler Rechenautomaten, aus Bildsymbolen wie die chinesische Schrift oder aus einer festgelegten Anzahl von Buchstaben wie die lateinische Schrift usw.

Die Information, die in solchen Sprachen gesendet wird, ist zu ihrem Träger invariant. So wird beispielsweise eine in elektromagnetische Wellen übersetzte und über weite Strecken gefunkte Nachricht nach der Entschlüsselung im Empfänger, wenn man von Störungen absieht, unverändert wiedererhalten; der Informationswert einer Nachricht bleibt der gleiche, ob sie in russischer, in deutscher oder in irgendeiner anderen, auch künstlichen

Sprache gesendet wird, vorausgesetzt, daß der Empfänger die Möglichkeit zu ihrer Entschlüsselung besitzt.

Auch die Umwelt "sendet" ständig Information in den verschiedensten Sprachen, die für den Menschen Relevanz besitzen; einige dieser Sprachen sind die Skala der als verschiedene Farben unterscheidbaren Lichtwellenlängen, die Skala der als verschiedene Töne unterscheidbaren Schallfrequenzen, die Skala von Gerüchen und Geschmäckern, die bestimmten chemischen Substraten zuzuordnen sind usw.

Farben, Töne, Gerüche und Geschmäcke sind dabei bereits die Endstadien eines komplizierten Übersetzungsvorgangs im empfangenden Wahrnehmungsapparat des Menschen. Wir werden auf diese Transformation der physikalischen Reizwelt im menschlichen Zentralnervensystem noch zu sprechen kommen.

Im Allgemeinen können wir zwei Arten informativer Prozesse in Regelsystemen unterscheiden : Einmal eine dem Regelsystem immanente Informationsübermittlung, beispielsweise die Weiterleitung einer Nachricht vom Meßfühler (oder Sinnesorgan) zum Regler, oder vom Regler zum Stellglied (zur Motorik), andererseits die informative Wechselwirkung zwischen externer Sphäre und System, wobei diese letzte Art der Informationsübertragung häufig als Kommunikationsprozeß bezeichnet wird.

Die Informationstheorie behandelt beide Arten der Nachrichtenverarbeitung. Sie umfaßt Probleme wie die Codierung einer Nachricht in eine bestimmte Sprache unter Optimalisierung des Codierungsaufwands, sie untersucht die Kapazität von Übertragungskanälen und Speichern, die Störanfälligkeit von Übertragungssystemen u.ä.; darüberhinaus betreibt sie Strukturanalysen von Texten jeder Art (z.B. auch von Musikstücken). Ihr Hauptanliegen besteht, wie man aus

den wenigen Anwendungsbeispielen bereits sehen kann, in der Quantifizierung von "Information" unabhängig von ihrer Zustandsform und unabhängig von der Sprache, in der sie sich manifestiert.

Im weiteren soll uns die Frage beschäftigen, wie man zu einem den angeführten Kriterien genügenden Informationsbegriff gelangt. Wir wollen die Ableitung anhand eines anschaulichen Beispiels durchführen. Stellen wir uns dazu ein Kollektiv von n Gegenständen vor. Diese Gegenstände sollen sich in zwei Kategorien voneinander unterscheiden : in Farbe und Form. Möglich seien a verschiedene Farben und b verschiedene Formen. Weiter seien Farben und Formen unabhängig voneinander.

Farben und Formen sind im vorliegenden Zusammenhang als sehr primitive Sprachen zu verstehen. Man kann dabei entweder in Farbe und Form zwei verschiedene Sprachen sehen oder auch eine einheitliche Sprache aus Farb-Form-Kombinationen. Beide Möglichkeiten wollen wir uns offenhalten.

Die Wahrscheinlichkeit, daß bei willkürlichem Herausgreifen ein Gegenstand eine bestimmte Farbe zeigt ist in unserem Beispiel festgelegt als $1/a$, daß er eine bestimmte Form zeigt als $1/b$, daß er eine bestimmte Farb-Form-Kombination zeigt als $1/a.b$.

Der Wahrscheinlichkeitsbegriff ist nun sehr eng mit dem Informationsbegriff verbunden. Wenden wir uns zunächst den "psychologischen" Implikationen des Wahrscheinlichkeitskonzeptes zu.

Weiß der Beobachter einer bestimmten Folge von Ereignissen um die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses E_1 Bescheid, so ist seine "Sicherheit" über das Auftreten des Ereignisses offenbar umso höher, je größer die Ereigniswahrscheinlichkeit ist. Umgekehrt wird der "Üerraschungswert" eines Ereignisses umso geringer sein,

je mehr es erwartet wurde, je größer also seine Erwartungswahrscheinlichkeit war.

Die Informationsmenge, die uns ein Ereignis E_i liefert, bringt man nun in Verbindung mit der Größe des Überraschungswertes dieses Ereignisses. Je mehr Überraschungswert einem Ereignis zukommt, desto mehr Unsicherheit beseitigt es, desto mehr Information liefert es, desto geringer ist aber auch seine Wahrscheinlichkeit.

Wir können also zunächst festhalten, daß die Information I eines Ereignisses E_i , das mit der Wahrscheinlichkeit p_i auftritt, eine Funktion dieser Wahrscheinlichkeit gemäß obiger verbaler Definition sein muß :

$$I_i = f(p_i)$$

Die erste Forderung, die wir gemäß obiger Festlegung an diese Funktion stellen müssen, ist, daß $f(p_i)$ mit dem Kleinerwerden der Wahrscheinlichkeit p_i zunimmt. Wir werden diese Forderung noch zu einer mathematischen Formulierung verdichten.

Eine zweite Forderung an die Funktion $f(p_i)$ ergibt sich aus folgender Überlegung : (Kehren wir zu diesem Zweck zu unserem oben beschriebenen Kollektiv von nach Farbe und Form unterscheidbaren Gegenständen zurück !) Jede der Farben in unserem Kollektiv besitzt den gleichen Überraschungswert und folglich den gleichen Informationsgehalt. Wir nahmen an, es seien a Farben vorhanden, von denen jede gleich oft vorkommt. Die Information, die ein Gegenstand bezüglich seiner Farbe besitzt, ergibt sich dann als

$$I_a = f(p_a) = f(1/a)$$

Dasselbe kann man bezüglich der Form deduzieren. Dort ergibt sich :

$$I_b = f(p_b) = f(1/b)$$

Kombiniert man nun Formen und Farben, so ergeben sich

a mal b verschiedene Möglichkeiten für die Erscheinungsweisen der Gegenstände aus unserem Kollektiv. Da jede dieser Kombinationen wieder gleich häufig vorkommt, resultiert als die Informationsmenge, die einem Gegenstand in der Sprache der Farb-Form-Kombinationen zuzuordnen ist als

$$I_{ab} = f(p_{ab}) = f(1/a.b)$$

Man setzt nun axiomatisch folgende sinnvolle Beziehung :

Die Informationsmenge, die einem Gegenstand aufgrund der Zugehörigkeit zu einer Kategorie a(=Farbe) zukommt und die Informationsmenge, die dem Gegenstand aufgrund der Zugehörigkeit zur Kategorie b(=Form) zukommt, addieren sich zu jener Informationsmenge, die dem Gegenstand aufgrund der Zugehörigkeit zur Kategorie der Kombinationen a.b zukommt. Diese Annahme ist plausibel, denn der Überraschungswert eines Gegenstandes ist umso höher, je höher der Überraschungswert seiner einzelnen Ereignisklassen ist. Außerdem wird bei dem Übergang von zwei getrennten Sprachen (a) und (b) auf eine synthetische Sprache (ab) nur die Betrachtungsweise der Gegenstände geändert, nicht aber die dem Kollektiv eigene Wahrscheinlichkeitskonstellation. Es geschieht also keine Veränderung an den Informationsträgern. Gegen eine Modifizierung der Betrachtungsweise aber sollte die Informationsmenge, bzw. der einem Kollektiv von Ereignissen zukommende durchschnittliche Überraschungswert unempfindlich sein.

Formalisiert stellt sich diese Forderung folgendermaßen dar :

$$I_a + I_b = I_{ab}$$

oder

$$f(1/a) + f(1/b) = f(1/a \cdot b)$$

Durch diese zweite Forderung wird die erste praktisch impliziert und somit überflüssig gemacht. Es ist leicht zu sehen, daß die Größe der Funktionswerte der obigen Funktionen in einem umgekehrten Verhältnis zur Wahrscheinlichkeit stehen müssen, wenn die Beziehung erfüllt werden soll.

Es gibt nun mehrere Funktionen, die als Lösungen der obigen Gleichung gelten können. Eine sehr einfache davon ist die Funktion

$$f(x) = -\log x$$

Wir können das durch ein Zahlenbeispiel verdeutlichen : Nehmen wir an, die Gegenstände unseres Kollektivs hätten vier Farbmöglichkeiten und acht Formmöglichkeiten in gleicher Häufigkeit. Wählen wir weiter als Basis der logarithmischen Funktion 2, so ergibt sich :

$$\begin{array}{rclcl} -^2\log (1/4) & - & ^2\log (1/8) & = & -^2\log (1/32) \\ -^2\log 2^{-2} & - & ^2\log 2^{-3} & = & -^2\log 2^{-5} \\ 2 & + & 3 & = & 5 \end{array}$$

Man hat sich per Konvention auf die Logarithmenbasis 2 geeinigt. Der Informationsgehalt 1 kann demnach definiert werden als diejenige Informationsmenge, die einer Ereigniswahrscheinlichkeit von $p_1 = 1/2$ zukommt, denn $-^2\log (1/2) = 1$

Statt $^2\log$ schreibt man kurz ld (logarithmus dualis).

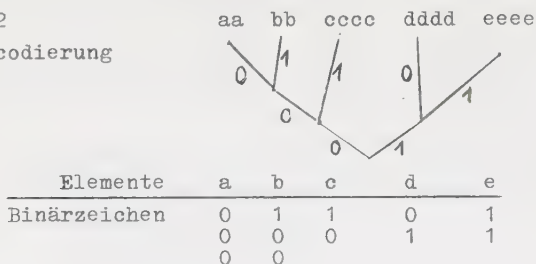
Die Informationsmenge, die durch den Logarithmus dualis aus der Ereigniswahrscheinlichkeit definiert ist, wird in bit (= binary digit) gemessen. Bei einer Ereigniswahrscheinlichkeit von $1/2$ liegt also für das betreffende Ereignis ein Informationsgehalt von 1 bit vor.

Die Wahl des Logarithmus dualis zur Definition der Informationseinheit gestattet die Plausibilisierung des Informationsbegriffs anhand eines anschaulichen Modells :

Stellen wir uns dazu ein Kollektiv von n Ereignissen vor, in dem nicht alle Ereignisse mit gleicher Wahrscheinlichkeit auftreten. Die Ereignisse seien a, b, c, d und e mit den folgenden Häufigkeiten :

Abb. 2

Binärcodierung



Wir teilen dieses Kollektiv der 16 Ereignisse in der Mitte in zwei Teile, jede der Hälften noch einmal usw. Nehmen wir an, ein Beobachter, der keinen Einblick in das Kollektiv nehmen kann, der nur weiß, welche Ereignisse vorkommen, soll mit möglichst wenigen Fragen eruieren, an welcher Stelle in dem Kollektiv sich eine bestimmte Ereignisgruppe befindet. Er fragt also beispielsweise, ob sich das Element a in der linken oder in der rechten Hälfte befinde; auf die Antwort "in der linken Hälfte" wird dieser Abschnitt des Kollektivs erneut halbiert und der Beobachter erhält auf eine weitere Frage wieder die Antwort "links"; Auch ein drittes Mal lautet die Antwort "links", allerdings mit dem Zusatz, daß er nun das Element gefunden habe.

Der Beobachter hat also bis zum Auffinden des Elements drei Fragen benötigt oder, wenn man die Fragen als Informationseinheiten nimmt, drei Informationsschritte.

Registriert man nun alle Antworten, die der Beobachter erhält, indem man die "links" - Antworten mit 0, die "rechts"-Antworten mit 1 bezeichnet, so erhält man für jedes Element des Kollektivs eine sog. Binärfolge, die für jedes Element verschieden ist und deren Länge etwas über die Anzahl der Fragen, d.h. über die einem Element zukommende Informationsmenge aussagt. Man bezeichnet die Binärfolgen für alle Ereignisse des Kollektivs als "Binärcodierung" des Kollektivs. Es ist leicht zu sehen, daß die selteneren Ereignisse des Kollektivs (z.B. a und b) längere Binärketten haben, also mehr Information zu ihrer Entdeckung benötigt wurde, als bei den kürzeren. Das entspricht ganz unserem obigen Axiom.

Um das Modell noch anschaulicher zu machen, kann man interpretieren, daß durch die Erfragung eines Elements der Bereich der ursprünglichen Ungewißheit, die über das Element herrschte sukzessive halbiert wurde. Je mehr Fragen nötig waren, desto größer war also die Ungewißheit bezüglich eines Elementes, desto länger ist auch die Binärkette bei seiner Codierung. Die Länge der Binärkette, die Anzahl der Alternativfragen, ist demnach ein quantitativer Ausdruck für die Ungewißheit, die über ein Element herrschte, und da, wie wir oben sahen, Ungewißheit ein negativer Ausdruck für Information ist, kann die Länge einer Binärkette als Maß der Information gelten. Man kann aufgrund dieses anschaulichen Modells ebenfalls die Informationsmenge mathematisch bestimmen. Die mathematische Formulierung resultiert aus der Überlegung, daß eine sukzessive Halbierung des Ungewißheitsbereiches einer fortwährenden Multiplikation des ganzen Kollektivs ($=n$) mit 2^{-1} gleichkommt. Diese Multiplikation wird solange fortgesetzt, bis sich das Kollektiv auf die Häufigkeit des gesuchten Elementes reduziert hat. Die mathematische Frage-

stellung lautet nun einfach : Wie oft muß n , die Anzahl aller Ereignisse halbiert werden, damit man auf die Häufigkeit eines bestimmten Ereignisses ($=h_i$) kommt. Das Problem wird gelöst durch die Gleichung :

$$n (2^{-1})^I = h_i$$

Da die Anzahl der Halbierungen, die Anzahl der Alternativfragen also, dem Informationsgehalt gleichgesetzt wurde, erscheint im Exponenten der Gleichung das Symbol des Informationsgehaltes I .

Wir lösen nun die Gleichung nach I auf :

$$2^{-I} = h_i / n = p_i$$

Beide Seiten werden logarithmiert zur Basis 2 :

$$2^{-I} = 2^{\text{ld} p_i}$$

Die Exponenten können gleichgesetzt werden :

$$I = - \text{ld} p_i$$

Wir sehen, daß das Ratemodell zum gleichen Ergebnis führt wie die axiomatische Ableitung des Informationsbegriffs.

Der Informationsgehalt I ist der Informationsbetrag eines einzigen Ereignisses mit der Ereigniswahrscheinlichkeit p_i .

Will man den durchschnittlichen Informationsbetrag eines ganzen Kollektivs von Ereignissen, so gewichtet man den Informationsbetrag der einzelnen Elemente mit der Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens und bildet aus diesen Produkten die Summe :

$$\bar{I} = - \sum_{i=1}^n p_i \text{ld} p_i$$

Man bezeichnet diesen Ausdruck, wegen seiner formalen Ähnlichkeit mit der mathematischen Beschreibung der Zustandsform eines Gases als "Entropie" (oder auch Negentropie) . Hohe Entropie eines Ereigniskollektivs bedeutet annähernde Gleichverteilung aller Elemente,

geringe Entropie bedeutet starke Differenzierung des Kollektivs bezüglich der Häufigkeiten der Elemente oder einfach "Ordnung".

Maximale Entropie entsteht bei idealer Gleichverteilung aller Elemente. Normiert man die Entropie eines Kollektivs, indem man sie auf seine hypothetische maximale Entropie ($I_{\max}$) bezieht, so erhält man für diese relative Entropie stets Werte zwischen 0 und 1, wobei 1 Gleichverteilung, 0 maximale Ordnung repräsentiert. Um ein direktes Maß für die Ordnung, die Differenzierung eines Kollektivs zu erhalten, subtrahiert man $I/I_{\max}$ von 1 und erhält die sog. Redundanz R eines Kollektivs, wobei nun der Wert 1 maximale Ordnung, der Wert 0 ideale Entropie indiziert :

$$R = 1 - I/I_{\max}$$

Berücksichtigt man nicht nur die elementare Struktur eines Kollektivs, sondern auch die Wahrscheinlichkeit von Elementkombinationen, bzw. die sog. Übergangswahrscheinlichkeiten von Element zu Element, so gelangt man zu Redundanzen höheren Ordnungsgrades, auf deren formale Darstellung in unserem Zusammenhang jedoch verzichtet werden kann.

2. Die psychologische Relevanz des Kanalmodells und des Informationsbegriffs

Wir haben die komplizierte Wechselwirkung des Menschen mit seiner Umwelt und die internen Regulationsprozesse schon einer kurzen kybernetischen Betrachtung unterworfen und wollen uns nun noch etwas eingehender mit der diesem komplexen Regelsystem eigenen Sprache, der "Sprache" des Zentralnervensystems, auseinandersetzen. Vor allem interessiert uns hierbei die Frage, ob der oben abgeleitete Informations -

begriff lediglich als Maß für den Strukturierungsgrad einer Sprache brauchbar ist oder ob vielleicht darüberhinaus die Anwendung der Logarithmenbasis 2 eine weitergehende physiologisch-psychologische Interpretation des Informationsmodells zulasse.

Da die letzte Frage grundsätzlich für die informationstheoretische Erforschung des menschlichen Erkenntnisapparates ist, soll im folgenden vor allem sie behandelt werden.

Zunächst einige allgemeine Anmerkungen :

Alle chemo-physikalischen Vorgänge in der Reizwelt der höheren Wirbeltiere und des Menschen, seien es Lichtwellen, Schallwellen oder Emanationen chemischer Prozesse, werden in den Sinnesorganen zunächst in isomorphe chemische oder physikalische Veränderungen der Struktur der Sinneszellen oder ihres Gehalts an bestimmten Stoffen transformiert. Die Weiterleitung dieser Veränderungen im Zentralnervensystem erfordert eine weitere Transformation des Reizes in die Sprache des Nervensystems.

Die Leitungseinheit des Nervensystems und des Gehirns ist das Neuron. Jedes Neuron reagiert auf externe Reizung nach dem Alles-oder-Nichts-Gesetz, d.h. die chemo-elektrischen Vorgänge an seiner Membran sind entweder stark genug, daß eine Weiterleitung stattfindet oder sie bleiben unter der Schwelle dieser Weiterleitung. Der chemo-elektrische Prozeß der Weiterleitung besitzt deshalb stets konstante Stärke. Die ursprüngliche Reizintensität in den Sinneszellen kann also nicht direkt in eine Weiterleitungsintensität der Nervenzellen verwandelt werden, sondern sie muß ihrer Quantität proportional in Alles-oder-Nichts-Impulse (Eins- oder Null-Impulse) codiert werden. Dabei handelt es sich jedoch nur um eine Quasibinärcodierung. Jeder Impuls wird zwar in

voller Größe oder überhaupt nicht wirksam, aber der Abstand zweier Impulse kann kontinuierlich geändert werden : Größere Intensität eines Reizes wird z.B. durch eine dichtere Impulsfolge ausgedrückt. Der Transformationsprozeß von der Sinneszelle zum weiterleitenden Nerv kann demnach als Implus-Frequenz-Modulation angesprochen werden. Ist nun diese Frequenzmodulation die letzte Transformation des ursprünglichen Reizes oder findet eine weitere Umwandlung der modulierten Impulsfolge, beispielsweise in einen echten Binärcode statt?

Wenn wir diesem Problem weiter nachgehen wollen, ist es zuvor nötig, noch einige Annahmen der modernen Informationspsychologie durchzugehen.

In der Informationspsychologie gilt als elementarster Bestandteil die Verfügbarkeit verschiedener Gedächtnistypen, die man nach einem Vorschlag von STEIN - BUCH (27) unter dem Oberbegriff "Zeitkanäle" zusammenfaßt.

Es hat sich als heuristisch äußerst brauchbar erwiesen, für den Menschen zwei Gedächtnistypen zu postulieren: das vorbewußte Gedächtnis (Gedächtnis im herkömmlichen Sinn), das Information länger zu speichern vermag und den sog. Kurzspeicher, der mit der Bewußtseinssphäre identisch ist und alle das Bewußtsein betreffende Information eine bestimmte Zeit T gegenwärtig hält.

Die ins Bewußtsein gelangende Information kann aus den Sinnesorganen stammen oder auch aus dem vorbewußten Gedächtnis ins Kurzzeitgedächtnis zurückgeholt, vergegenwärtigt worden sein. Die Funktion des Kurzspeichers kann deshalb auch als "Gegenwärtigung", die Zeit T als "Gegenwartsdauer" (FRANK) bezeichnet werden.

Durch verschiedene subtile Experimente , auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, ist es bereits gelungen, die Informationsaufnahme- und Informationsflußkapazitäten der beiden Zeikanäle zu bestimmen. Die Zeit , die zur Aufnahme einer Informationseinheit (1 bit) ins Bewußtsein notwendig ist, wird auch subjektives Zeitquant (SZQ) genannt. Da die Informationszuflußkapazität zum Kurzspeicher etwa 16 bit/sec beträgt, ist demnach 1 SZQ gleich $1/16$ sec gleichzusetzen. Der Informationsgehalt irgendeiner Reizeinheit der Umwelt kann nun auch angegeben werden als die Anzahl der subjektiven Zeitquanten, die zu seiner Apperzeption notwendig sind.

FRANK stellte über die Apperzeption von in ihrem Informationsgehalt festliegenden Ereigniskollektiven (z.B. Reihen von Zahlenpaaren u.ä.) Versuche an. Er bot die Zeichenreihen seinen Versuchspersonen und instruierte sie, die Reihen sofort nach Beendigung der Darbietung zu reproduzieren, wobei alle Zahlenpaare etwa wieder in gleichen Häufigkeiten wie bei der Darbietung auftreten sollten.

ATTNEAVE, NOBLE und ARNOULT hatten schon früher solche Experimente durchgeführt und konnten zeigen, daß beim Schätzen von Häufigkeiten die häufigeren Zeichen unterschätzt, die selteneren überschätzt werden. Die drei Autoren erklärten diesen Effekt zunächst nicht, sondern beschränkten sich darauf, die erhaltenen empirischen Kurven (Zuordnungen von objektiver und subjektiver Wahrscheinlichkeit der Zeichen) durch geeignete mathematische Funktionen, die gleich den empirischen Kurven monoton steigen, anzunähern.

Auch die Entropiekurve, ebenfalls eine Funktion der Wahrscheinlichkeit p , ($y = -p \lg p$) hätte den

Effekt erklären können. Diese Funktion steigt jedoch nur im Bereich von $p = 0$ bis $p = 0.37$ monoton und fällt nach diesem Maximum wieder. Da bei den drei oben genannten Autoren die höchste objektive Wahrscheinlichkeit eines Zeichens bei nur 0.27 lag, konnte dieser Maximumeffekt nicht auftreten.

FRANK verbesserte daraufhin den Versuchsplan ($p_{\max} = 0.75$) und erhielt tatsächlich einen Maximumeffekt bezüglich der subjektiven Wahrscheinlichkeiten.

Sein Ergebnis war, daß die subjektiven Schätzungshäufigkeiten der Zeichen eines Kollektivs proportional sind zum Entropiebeitrag der einzelnen Zeichen ($= p \lg p$) oder, was das gleiche ist, zum Gesamtbetrag ihrer Information ($= h \lg p$). Da $\lg p$ die Apperzeptionszeit eines Zeichens in SZQ bedeutet, kann das obige Ergebnis auch so formuliert werden, daß bei der subjektiven Schätzung der verschiedenen Häufigkeiten eines objektiv bestimmten Zeichenkollektivs, die subjektiven Schätzwerte, proportional zu den Gesamtzeiten ihrer wiederholten Wahrnehmung sind (gemessen in SZQ).

Es gibt nun zwei Möglichkeiten, den Informationsgehalt der Zeichenreihen zu bestimmen und zwar nach der theoretischen Beziehung für die Entropie (siehe Formel) oder effektiv, nach dem oben skizzierten Ratemodell, bei dem eine Codierung tatsächlich vollzogen wird. Das letzte Verfahren führt notwendig zu ganzzahligen Informationswerten, während das erste auch Bruchteile von Informationseinheiten zuläßt. Es lassen sich bei den darzubietenden Zeichenreihen Häufigkeiten verwenden, bei denen die Informationsbeiträge verschiedener Zeichen nach beiden Berechnungsarten erheblich differieren. FRANK führte mit solchen Reihen ein experimentum crucis durch und konnte feststellen, daß sich die empiri-

schen Werte an die durch e f f e k t i v e Co-
dierung erhaltenen angleichen.

Dieses Ergebnis kann als eine erste Antwort auf
die obengestellte Frage nach der Existenz einer
echten Binärcodierung im Zentralnervensystem an-
gesehen werden.

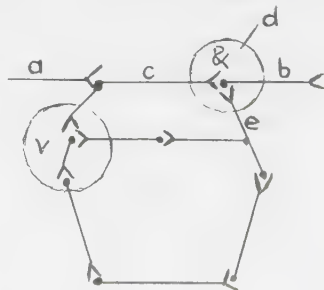
Der Hinweis auf die Möglichkeit, daß unsere interne
Informationsverarbeitung mittels eines binären
Alphabets vonstatten gehen könnte, wurde bis jetzt
nur auf psychologischem Abstraktionsniveau gefun-
den, und man könnte sich im Anschluß an das geschil-
derte Experiment fragen, wie denn nun das anatomisch-
physiologische Substrat eines codierfähigen Mecha-
nismus theoretisch ausschauen müßte.

Dieses System sollte die Eigenschaft besitzen, die
frequenzmodulierten Impulsfolgen aus den Sinneß-
zellen in eine 0 - 1 - Folge von konstanter Fre-
quenz zu übersetzen. Folgende Neuronenschaltung,
die diese Bedingung
erfüllt, ist denkbar

Abb. 3 Neuronenerregerkreis

(Abb. 3) :

Gelangt bei a ein Im-
puls an, so wird er
nicht von b übernom-
men, da die konjunk-
tive Synapse d nur
dann weiterleitet, wenn
an c und e gleichzeitig
ein Impuls eintrifft.



Der erste Impuls fließt in den Erregerkreis; falls
er an der konjunktiven Synapse zugleich mit dem
zweiten Impuls ankommt, gelangt ein Impuls nach d.
Da der zweite Impuls zugleich auch in den Erreger-
kreis geleitet wird, vergrößert sich auf diese
Weise die Wahrscheinlichkeit, daß ein Impuls von
a nach b fließt. Der Erregerkreis schaukelt sich

zu einer konstanten Eigenfrequenz auf, die dazu geeignet ist, bei konjunktiver Koppelung des Erregerkreises mit einem Rezeptor dessen Impulsfolge zu rastern und zwar, durch gleichmäßiges Feuern, in ein binäres Repertoire. Die Eigenfrequenz des Erregerkreises bewirkt, daß in festliegenden Intervallen ein Signal abgeleitet oder nicht abgeleitet wird, je nachdem ein Signal des Rezeptors mit einem Signal des Erregerkreises zusammenkommt oder nicht. (vgl. FRANK , 8)

Wir wollen an diesem Punkt von weiteren Spekulationen Abstand nehmen. Die Experimente FRANKS und anderer haben gezeigt, daß es zumindest heuristisch sinnvoll ist, mit dem Informationsbegriff und auch mit der Vorstellung einer effektiven Binärcodierung weiter zu experimentieren.

3. Ansätze zu einer einheitlichen informationspsychologisch-operationalen Theorie kognitiver Prozesse und Ableitung der Fragestellung

In diesem Abschnitt soll der Versuch einer Synthese einiger Aspekte der bisher referierten Modelle mit Hilfe informationstheoretischer Begriffe unternommen werden. Neben dem PIAGETschen Operationalismus und den grundsätzlichen Annahmen einer von FRANK und CUBE begründeten Informationspsychologie (insbesondere der bei CUBE beschriebenen "Redundanztheorie des Lernens" , CUBE, 4 , S 111) wird in dieses Konzept die eingangs gemachte Forderung miteingehen, den gesamten Komplex kognitiven Geschehens als Spezialfall einer Anpassung des Organismus an seine Umwelt zu sehen. Daß eine solche Anpassung über die Angleichung eines "subjektiven Schemas" für einen Umweltsektor an das entsprechende "objektive Schema" hinausgehen kann (z.B. im produktiven Denken) steht

nicht im Widerspruch zur prinzipiellen Brauchbarkeit des Anpassungsbegriffs, wenn man Anpassung immer in Relation zum gesamten internen Umweltmodell des Organismus sieht. Die Untersuchungen PIAGETS konnten eindrucksvoll demonstrieren, daß das Ziel der Entwicklung der Intelligenz gleichzusetzen ist mit der Konstruktion eines Systems abstrakter Operationen, die in einem gewissen Rahmen prinzipiell jede mögliche Umweltveränderung antizipieren bzw. verstehen können. Die in idealer Reversibilität befindlichen Gruppierungen PIAGETS (z.B. Gruppe der Ortsveränderungen und logische Operationen) sind so etwas wie das Gerüst des internen Umweltmodells und kennzeichnen ein System von "Vorangepaßtheiten" (die KANT zutreffend als die apriorischen Schemata der Anschauung bzw. Verstandesbegriffe bezeichnete).

Aus der Diskussion des PIAGETSchen Ansatzes ging bereits hervor, daß die Loslösung der internen Assimilationsschemata von den Akkommodationszwängen der Umwelt von der Wahrnehmung bis zum abstrakt logischen Denken in stetig wachsendem Maße erfolgt, wobei eine zunehmende Reversibilität der entsprechenden Operationen zu beobachten ist. Dieser Prozeß der zunehmenden Flexibilität der Assimilationsschemata korreliert nach PIAGET auch mit dem ontogenetischen Stadien der Intelligenzentwicklung. Auf die gleiche Formel kann jedoch auch ein allgemeines Schema der menschlichen Informationsverarbeitung gebracht werden.

Dieses Schema soll im Ansatz vorgestellt werden. Wo es möglich und heuristisch sinnvoll schien wurde die verbale Deskription dieses Schemas ergänzt durch informationstheoretische Formalisierungen.

Wie in der folgenden knappen Darstellung, eingehend aber im 2. Teil dieser Arbeit, gezeigt wird, kann man mit Hilfe der Annahme einer zentralnervösen Binärübersetzung aller Information bei Lern- und Denkprozessen eine theoretische Verbindung herstellen zwischen einer durch ihre Elementstruktur objektivierten Umwelt und einer systembildenden, organisierenden Tätigkeit des informationsverarbeitenden Apparates. Bleibt man im PIAGET'schen Modell, so ist die Grundeinheit der kognitiven (effektiven) Operationen zunächst hypothetisch mit der (effektiven) Binärcodierung aller Information gleichzusetzen. Der grundlegende Assimilationsvorgang ergibt sich somit notwendig als die "Angleichung" objektiver Information an die "Sprache" des Zentralnervensystems, wobei die Gesetze einer solchen Transformation jene der entsprechenden Codierungstheorie sind.

Wir wollen nun zunächst den Ablauf dieser grundlegenden Assimilation etwas stringenter formulieren und den dabei wirksamen Akkommodationsvektor aufdecken. Zu diesem Zweck reduzieren wir die Umwelt, bzw. einen Umweltsektor unseres informationsverarbeitenden Systems auf ein "endliches Schema" von Zeichen z_i mit den Wahrscheinlichkeiten p_i . Unter "Zeichen" soll dabei mit CUBE die Eigenschaft eines Signals (=physikalischer Träger des Zeichens) verstanden werden, Element einer Nachricht zu sein.

Nicht die semantische oder die pragmatische Funktion der Zeichen wird uns interessieren, sondern nur die syntaktische. "Die syntaktische Funktion eines Zeichens ist nichts anderes als die Funktion des Zeichens, Element einer Struktur zu sein, sofern diese Struktur eine Information für ein Subjekt darstellt." (CUBE, 4, S 60)

Mit CUBE wollen wir das endliche Schema unseres Umweltsektors durch folgende Matrix symbolisieren :

$$\begin{bmatrix} z_1 & z_2 & z_3 & \dots & z_n \\ p_1 & p_2 & p_3 & \dots & p_n \\ & & p_{i(j)} & & \end{bmatrix} \quad \sum_{i=1}^n p_i = 1$$

(vgl. CUBE ,4,S111)

Man kann dieses Schema des Umweltsektors auch als Nachricht auffassen, deren Elemente sukzessiv gesendet werden und mit den oben bezeichneten Wahrscheinlichkeiten p_1 bis p_n zu erwarten sind.

Wir machen die Annahme, daß unser informationsverarbeitendes selbstorganisierendes System , der Empfänger der Nachricht, zunächst weder unterrichtet ist über die Anzahl der verschiedenen Zustände des Sendeschemas noch über die Wahrscheinlichkeiten dieser Zustände, bzw. über die Übergangswahrscheinlichkeiten der Zustände in beliebige andere ($p_{i(j)}$).

Der Empfänger errichtet ein internes System für den durch die Nachricht repräsentierten Umweltsektor, in dem vorläufig N' Leerstellen für die zu erwartenden Nachrichtenelemente reserviert sind.

Wir zergliedern nun die Anpassungsprozedur unseres selbstorganisierenden Systems an das Umweltschema fiktiv in drei Phasen, fiktiv deshalb, weil realiter, im menschlichen Informationsverarbeitungssystem eine Überlagerung der hier formal getrennten Prozesse wahrscheinlich ist.

a) Die Erfassung des Zeichenrepertoires des Nachrichtenschemas

(Der Begriff Adaptation wird im Folgenden für den gesamten Prozeß der informationellen Anpassung verwendet, da die Begriffe Akkommodation und Assimilation

bereits belegt sind.)

In der Adaptationsphase gelange unser Empfängersystem zur Kenntnis der Mächtigkeit des Zeichenrepertoires des zu "erkennenden" Umweltsektors. Eine formale Beschreibung dieses Prozesses gibt ITELSON (14). Wir wollen uns in etwa an sein Konzept halten.

ITELSON führt den Begriff der "Informiertheit" K in seine formalen Überlegungen ein. K ist ein Komplement zur Information I (die ein Maß für die Unsicherheit darstellt). Da bei einem Kollektiv mit bekannter Mächtigkeit des Elementrepertoires n die maximale Unsicherheit $I_{\max} = \lg n$ beträgt, ist die Größe der minimalen Informiertheit von $K = 0$ in diesem Fall, bei idealer Gleichverteilung aller Zeichen, anzusetzen. Erhält das erkennende System Information über die objektiven Wahrscheinlichkeiten des zu erkennenden Systems, so wächst seine Informiertheit in dem Maße, wie sich seine Unsicherheit reduziert.

Da $I = \sum p_i \lg p_i$ ein Maß für die Unsicherheit über ein Kollektiv repräsentiert und die Differenz $\lg n - I$ ein Ausdruck für die Reduktion der Unsicherheit durch die Information über die Wahrscheinlichkeitsverteilung im "zu erkennenden" Kollektiv ist, kann K definiert werden als

$$K = \sum_{i=1}^n p_i \lg(p_i \cdot n) \quad (\text{vgl ITELSON, 14, S389})$$

Der Begriff der Informiertheit ist formal der Absolutwert der Redundanz, die Redundanz also soviel wie relative Informiertheit.

Unser Empfängersystem besitzt, wie erwähnt, N' potentielle Zustände, die zu Beginn des Adaptationsprozesses gleichwahrscheinlich sind ($w_1, w_2, \dots, w_{N'}$).

Schema des Empfängers zu Beginn des Adaptationsprozesses :

$$\begin{bmatrix} z_1 & z_2 & z_3 & \cdot & \cdot & z_{N'} \\ w_1 & w_2 & w_2 & \cdot & \cdot & w_{N'} \\ & & w_{i(j)} & & & \end{bmatrix} \quad \sum_{i=1}^{N'} w_i = 1$$

Da alle Zustände des Empfängers gleichwahrscheinlich gesetzt wurden, beträgt seine Informiertheit 0.

Trifft vom Sender das Signal z_1 ein, so befindet sich für unseren Empfänger das "zu erkennende" System im Zustand z_1 , der dem gesendeten Zeichen z_1 zugeordnet wird. Zu diesem Zeitpunkt des Adaptationsprozesses ist das Empfängersystem vollkommen informiert, denn vom zu erkennenden System ist nur ein Zustand bekannt, so daß der Sender als vollkommen determiniert, d.h. durch diesen einen Zustand beschreibbar erachtet werden muß. Die Wahrscheinlichkeit w_1 für z_1 ist ja beim aktuellen Stand des "Wissens" unseres Empfängers gleich 1, die Wahrscheinlichkeit der reservierten Leerstellen des Empfängerschemas gleich 0. Die Informiertheit K ergibt sich so als :

$$K = 1 \cdot \lg(N' \cdot 1) + 0 \cdot \lg(N' \cdot 0) + \dots = \lg N'$$

wodurch ebenfalls ausgedrückt ist, daß der Empfänger maximal informiert ist. Die Unsicherheit des Empfängers über das zu erkennende System wird zu

$$H = \lg N' - K = 0$$

Wird der Empfänger nun im weiteren Verlauf der Adaptation über andere Zustände $z_i \neq z_1$ des Senders unterrichtet, so reduziert sich natürlich seine Informiertheit im gleichen Maße, wie die Unsicherheit

anwächst. In der folgenden Tabelle sind einige weitere Schritte dieses Prozesses dargestellt :

Bekannte Zustände des Sendesystems	Informiertheit des Empfängers	Unsicherheit
$z_1 z_2$	$\text{ld } N'/2$	$\text{ld } 2$
$z_1 z_2 z_3$	$\text{ld } N'/3$	$\text{ld } 3$
$z_1 z_2 z_3 z_4$	$\text{ld } N'/4$	$\text{ld } 4$
$z_1 z_2 z_3 z_4 \dots z_i$	$\text{ld } N'/i$	$\text{ld } i$

Die letzte Zeile der Tabelle enthält bereits die induktive Verallgemeinerung des geschilderten Prozesses. Besitzt die gesendete Nachricht, wie in unserem Fall n verschiedene Zustände bzw. Zeichen, so erreicht die Unsicherheit des Empfängers bei der Größe $H = \text{ld } n$ ihren höchsten Wert. Die Informiertheit des Empfängers ergibt sich dann als $K = \text{ld}(N'/n)$. Man sieht, daß die Informiertheit anwächst mit der Diskrepanz zwischen der "erwarteten" Kollektivmächtigkeit und der objektiv gegebenen. Wir wollen diesen Aspekt jedoch nicht weiter verfolgen. Uns interessiert die Tatsache, daß die Informierung unseres Empfängers über alle verschiedenen Zustände des Sendeschemas gleichbedeutend ist mit einer Informationsübertragung von $n \cdot \text{ld } n$ (bit), also genau der Informationsmenge, die der Kenntnis aller verschiedenen Zeichen eines Kollektivs ohne Information über deren Wahrscheinlichkeiten entspricht.

In der nächsten Phase des Lernprozesses wird das von N' Einheiten auf n Einheiten reduzierte Empfängerschema zugrundegelegt.

b) Die Erfassung der Wahrscheinlichkeitsstruktur des gesendeten Schemas

In Kapitel IV/1b) dieses Teils und in Kapitel VI/4b) des 2. Teils der Arbeit wird auf das Modell der effektiven Binärcodierung nach HUFFMAN hingewiesen.

Bei diesem Modell, wie auch bei der theoretischen Berechnung des Informationsgehaltes wird einem Zeichen ein umso längerer Binärkode bzw. größerer Informationsgehalt zugeordnet, je weniger wahrscheinlich dieses Zeichen im gesamten Kollektiv auftritt. Durch dieses Verfahren wird erreicht, wie gezeigt werden kann, daß die Entropie für das gesamte System ein Minimum wird. Man bezeichnet das zugehörige Codierungsverfahren daher als Optimalcodierung.

Da eine optimalcodierte Nachricht mit minimalem (materiell zu verstehendem) Aufwand übertragen bzw. weitergeleitet werden kann, liegt es nahe, den biologischen Informationsverarbeitungssystemen das Bestreben zu hypostasieren, für begrenzte Umweltsektoren einen Optimalcode zu entwickeln. Dieser Optimalcode setzt jedoch voraus, daß die relativen Häufigkeiten der gesendeten Zeichen in irgendeiner Weise registriert werden (ein Vorgang, der eventuell identisch ist mit dem Vorgang des Codierens selbst).

Daß der Mensch eine ungefähre Vorstellung von den Wahrscheinlichkeiten bestimmter Ereigniskonstellationen besitzt, konnte durch Versuche über das sog. Wahrscheinlichkeitslernen nachgewiesen werden (vgl. dazu HAKE und QUASTLER, BENNETT, FITTS und NOBLE, GOODNOW und PETTIGREW, R.A.GARDNER im Sammelreferat von CUBE, 4). Dies gelang jedoch nur in sog. Vorhersageexperimenten (bei denen die Versuchspersonen kommende Ereignisse aufgrund ihrer bisherigen Erfahrung mit dem Ereigniskollektiv vorhersagen sollen); in Schätzexperimenten, bei denen die Häufigkeiten der Repertoireelemente "dargestellt" (also z.B. das dargebotene Repertoire reproduziert) werden sollen, sind zur Erklärung der dort auftretenden Verzerrungen Zusatzannahmen nötig. CUBE führt die Unterschiede der Ergebnisse auf die unterschiedliche Experimentiertätigkeit zurück. Bei den Vorhersage-

experimenten handelt es sich um intentionales Lernen, das die semantische Seite der durch die dargebotenen Zeichen übermittelten Information berücksichtigt, bei den Schätzexperimenten hingegen um incidentales Lernen, das lediglich die syntaktische Information der Zeichen als Bezugsebene habe. (Vgl. CUBE, 4, S 130)

Die plausibelste und bezüglich der übrigen theoretischen Vorstellungen ökonomischste Zusatzannahme zur Erklärung der verzerrten Wiedergabe von Zeichenstrukturen bei Schätzexperimenten konnte FRANK liefern, indem er gerade beim incidentalalen Lernen und Schätzen eine Vergegenwärtigung der zu reproduzierenden Zeichenfolgen im Kurzspeicher postulierte, die eine Reproduktion proportional zur informationellen Auffälligkeit in subjektiven Zeitquanten (SZQ) der Zeichen bewirke. (Vgl. IV/2)

Auch der Verfasser (HÜBNER 1964) und KLUWE (1969) konnten mit Hilfe des Auffälligkeitsmaßes (FRANK, 9) zu guten Annäherungen an die experimentellen Befunde gelangen.

Die empirische Relevanz des Auffälligkeitsmaßes erweist bereits die Berechtigung, beim menschlichen Informationsverarbeitungssystem zumindest hypothetisch die Tendenz zur Optimalcodierung der Umweltinformation zu setzen.

Für die Perfektionierung der Anpassung unseres Empfängers an das gesendete Schema würde das bedeuten, daß in der zweiten Phase des Lernprozesses die Optimalcodierung des inzwischen in seiner Mächtigkeit bekannten Zeichenrepertoires vollzogen wird. Dies impliziert wiederum, daß bereits in der ersten Phase der Adaptation eine Codierung der Zeichen des Senders stattgefunden haben muß, die allerdings zu einem nicht optimalen Code für das Gesamtkollektiv führte.

Man könnte sich etwa vorstellen, daß jedes Kollektiv, das zunächst auch seiner Repertoiremächtigkeit nach unbekannt ist mit einem für alle Elemente gleichlangen maximalen (durch die Kapazität des apperzipierenden Systems bestimmten) Code versehen wird. Wir teilen nun in unserem Schema fiktiv diesen Prozeß der ersten Phase, den Prozeß der Optimalisierung der zweiten Phase der Adaptation zu.

Formal kann der Prozeß des Übergangs von einer nicht-optimalen Codierung der n Zeichen unseres Kollektivs in eine optimale auf die Angleichung des subjektiven Schemas an die Wahrscheinlichkeiten des objekten reduziert werden. Betrachtet man den Angleichungsprozeß auch formal als ein in der Zeit ablaufendes Geschehen, so sind die subjektiven Wahrscheinlichkeiten der Zustände des Empfängerschemas Funktionen der Zeit (CUBE), die, so wollen wir definieren am Ende der zweiten Phase des Adaptationsprozesses (Zeitpunkt T) dem Grenzwert w_i zustreben :

$$\lim_{t \rightarrow T} w_i(t) = w_i$$

Bei zunehmender Optimalisierung der Codierung folgt daraus :

$$|w_i(t) - p_i| > |w_i - p_i|$$

Fordert man, wie CUBE, nicht nur eine Angleichung des subjektiven Schemas an die Elementwahrscheinlichkeiten, sondern darüber hinaus an Abhängigkeiten höheren Grades, so müßte, in unserem Modell, ein solcher Prozeß zurückgeführt werden auf die Codierung nicht nur der Elemente, sondern auch von Sequenzen höherer Ordnung. Wir wollen diesen Vorgang als komplexeres Anpassungsgeschehen der dritten Adaptationsphase zuteilen.

Weitere formale Aspekte der Optimalisierung des Codes sind :

Die erneute Zunahme an Informiertheit (nun ausgehend von einem Schema mit der Elementanzahl n) und die gleichzeitige Abnahme an Unsicherheit.

$$\begin{array}{ll}
 \text{Beginn der 2. Phase} & K = \lg n - \lg n = 0 \\
 & I = \lg n = I_{\max} \\
 \text{Ende der 2. Phase} & K = \lg n - \sum_{i=1}^P w_i \lg w_i = \\
 & = \sum_{i=1}^n w_i \lg(n \cdot w_i) \\
 & I = \sum_{i=1}^n w_i \lg w_i
 \end{array}$$

Betrachtet man mit CUBE das Lernen als redundanzzeugenden Prozeß, so ergibt sich die Modifikation der Lernredundanz in der Adaptationsphase als :

$$\text{Beginn der 2. Phase} \quad R = 1 - I_{\max} / I_{\max} = 0$$

$$\text{Ende der 2. Phase} \quad R = 1 - I / I_{\max} > 0$$

wobei für alle formalen Deskriptionen das Idealziel einer Übereinstimmung der Wahrscheinlichkeitsstrukturen von subjektivem und objektivem Schema gesetzt wurde.

Wir wollen nun, zusammenfassend für die Phasen 1 und 2 die beiden Faktoren der kognitiven Anpassung Assimilation und Akkommodation aus dem Geschehen herauslösen.

Neben dem grundlegenden Assimilationsvorgang der Binärcodierung in beiden Phasen ist die Akkommodationswirkung in der ersten Phase gleichzusetzen mit der Begrenzung des Empfängersystems auf die durch die Umwelt diktierte Anzahl möglicher Zustände, durch die der zu adaptierende Umweltausschnitt hinlänglich erfaßt werden kann.

In der zweiten Phase wird die Akkommodationswirkung ausgedehnt auf die Wahrscheinlichkeitsstruktur des

gesendeten Systems. Durch die Optimalcodierung der Nachricht, die für diese Phase postuliert wird, werden die empfängerinternen Repräsentanten (Binärfolgen) der Zeichen dieser Nachricht (Z_i) automatisch in eine Systemabhängigkeit gebracht, derart, daß jedes Element des Empfängersystems von jedem anderen Element abhängig ist. Dies ergibt sich durch die Interdependenz von Wahrscheinlichkeitsstruktur und Optimalcode.

Bei incidentalem Lernen macht sich diese Systemabhängigkeit der Zeichen eines Kollektivs in charakteristischen Verzerrungen bemerkbar (vgl. Schätzexperimente FRANKS). Ob auch die Wahrnehmungsverzerrungen generell, deren Entstehung von PIAGET auf die teilreversiblen Operationen der sensumotorischen Stufe zurückgeführt wird, sich durch die FRANKSche Vergegenwärtigungshypothese erklären lassen, steht in dieser Arbeit nicht zur Diskussion. Durch die Systemeigenschaft eines Optimalcodes ist jedoch der theoretische Ansatz zur Reduktion von Systemen, von "Gestalten" auf zentralnervöse Aktivität gegeben. Durch die FRANKSche Vergegenwärtigungshypothese wird demonstriert, daß bereits geringe Zusatzannahmen genügen, um die innerpsychische Repräsentanz von noch nicht vollständig akkommodierten Assimilationsschemata informationspsychologisch zu fixieren.

Nach dieser mehr qualitativen Analyse des bisherigen Adaptationsgeschehens, wollen wir wieder auf den quantitativen Aspekt zurückkommen. Die Verringerung der subjektiven Ungewißheit unseres Empfängers über den in der Matrix z definierten Umweltsektor kann vom Beginn der Übertragung des ersten Zeichens bis zum Ende der zweiten Phase durch die Differenz $ld N' - \sum_1^n w_i ld w_i$ angegeben werden. Wir haben bereits diesen Vorgang als "Lernen" bezeichnet. So

auch FRANK : " Ein System lernt etwas über seine Umwelt, indem es denjenigen Anteil an subjektiver Information über diese Umwelt verringert, der für ein zweckmäßiges Verhalten in dieser Umwelt verwertbar ist, aber dazu erst noch aufgenommen werden muß. (FRANK, 9, II, S 119)

Wir haben bisher nur den Vorgang der Informationsverringering betrach~~t~~et und wenden uns also nun der Informationsaufnahme zu.

c) Informationsaufnahme

Der Prozeß der Informationsaufnahme bzw. des eigentlichen Lernens im klassischen Verständnis wird von FRANK und CUBE unterteilt in die mechanische Speicherung von Information (z.B. Auswendiglernen) und die Superierung der dargebotenen Information (Superzeichenbildung). Natürlich ist auch diese Unterscheidung nur zum Zwecke der wissenschaftlichen Analyse durchgeführt. Wir wollen diese Untergliederung nur zunächst, um die formalen Überlegungen Cubes übersichtlich darstellen zu können, durchhalten, werden aber dann, bei weiterer (vorerst theoretischer) Reduktion der verschiedenen Arten der Redundanz~~er~~zeugung auf mögliche codierungstechnische Modellvorstellungen zu einer eher einheitlichen Betrachtungsweise des Informationsaufnahme~~pro~~zesses gelangen.

Beim Auswendiglernen von Zeichenfolgen paßt sich unser Empfängerschema in zunehmendem Maße, allgemein ausgedrückt an die n-Gramm-Abhängigkeiten der Zeichenfolge an. Beim Empfänger wird (CUBE,4,S118) ein kurzspeicher mit der Zuflußkapazität von C (bit/Zeiteinheit) und ein Gedächtnis (nach FRANK vorbewußtes Gedächtnis) mit der Zuflußkapazität von G (bit/Zeiteinheit) angenommen.

Setzt man voraus, daß zunächst nur die durch die Elementstruktur des gesendeten Schemas implizierte Informationsmenge aufgenommen wird, die wir als I bezeichnen, so lassen sich für den Zufluß zu beiden Speichern folgende Gleichungen formulieren :

$$t = I (1/C)$$

$$t = I (1/G)$$

Nur die Informationsmenge, die im Gedächtnis gespeichert wurde gilt als "gelernte" Information. Nehmen wir an, daß die gesendete Nachricht fortlaufend wiederholt wird, so läßt sich formal folgender Verlauf der Informationsaufnahme postulieren :

Bei der ersten Darbietung der Nachricht fließt für die Zeit I/C Information in den Kurzspeicher; in der gleichen Zeit werden $(I/C) \cdot G$ Informationseinheiten ins Gedächtnis aufgenommen. Um diesen Betrag reduziert sich bei der zweiten Darbietung die Gesamtinformationsmenge I und somit die Zeit für die Aufnahme der Nachricht :

$$t_2 = I/C(1-G/C)$$

Gespeichert wird bei der ersten Wiederholung dann die Informationsmenge :

$$IS_2 = I/C(1-G/C)G$$

Würde man diese Reihe forsetzen, so gelangte man induktiv zur Gleichung :

$$IS_n = I (1 - (1-G/C)^n)$$

Daraus geht hervor, daß zur vollständigen Informationsaufnahme der Nachricht unendlich viele Wiederholungen nötig sind. CUBE führt nun einen Grenzwert ein, der sich daraus ergibt, daß die Zeit für die Aufnahme einer Nachricht in den Kurzspeicher auch davon bestimmt wird, wie groß die Informationsmenge der Nachricht im endlichen Schema aller Nachrichten (z.B.

der gleichen Art, des gleichen übergerodneten Kollektivs) ist. Mit Hilfe dieses Grenzwertes läßt sich die Größe n bestimmen. (CUBE, 4, S120)

Es würde zu weit führen, die Berechtigung eines solchen Grenzwertes an dieser Stelle zu diskutieren. Für die vorliegende Übersicht benügt es, festzuhalten (wofür empirische Evidenz besteht), daß die Lernzeit mit der Informationsmenge des Textes linear ansteigt, die Anzahl der Wiederholungen dagegen logarithmisch.

Man kann nun auf die Elementstruktur des Sendeschemas bezogene Formalisierungen der Informationsaufnahme und mechanischen Informationsspeicherung dahingehend komplizieren, daß man neben der Speicherung der Elementstruktur auch die Speicherung von Kontextabhängigkeiten der Elemente annimmt, welche ebenfalls durch die zur Verfügung stehenden 'Zuflußkapazitäten' der Speicher gedeckt ist.

Das Lernen solcher bedingter Wahrscheinlichkeiten liegt der Bildung von sog. "Superzeichen" zugrunde. Superzeichen sind in einer Folge von Zeichen immer wiederkehrende gleiche Sequenzen, die vom Empfänger als solche erkannt werden und nun als neue Informationseinheiten das weitere Lernen der Nachricht vereinfachen.

Dieses Verfahren kann beim Auswendiglernen eines Textes angewandt werden und führt dort zur Bildung von sog. Autokorrelationen, die durch die bedingten Wahrscheinlichkeiten der Zeichen nahegelegt werden. Da diese Superzeichen ausschließlich durch die Akkommodation des empfängerinternen Schemas an die durch die Aufeinanderfolge der Elemente determinierte Wahrscheinlichkeitsstruktur höherer Ordnung der Nachricht zustande kommen, sind sie als "irreversibel" im PIAGET'schen Sinne zu bezeichnen.

Das gilt auch dann, wenn die durch diese Art von Superzeichenbildung entstehenden neuen Informationseinheiten sich verselbständigen und sich zu neuen Konstellationen gruppieren. Für solche Konstellationen ist dann zu untersuchen, ob es sich ebenfalls wieder um irreversible Superzeichen (höherer Ordnung) handelt oder um einer produktiven Tätigkeit des selbstorganisierenden Empfängersystems entspringende Neukombinationen. Auch Neukombinationen sind "Superierungsvorgänge" (FRANK), die wir bereits als Denken bezeichnen würden. Das Gleiche gilt für Superzeichenbildung, die Invarianten erzeugt (z.B. Begriffsbildung). Die letztere wird von FRANK als "Superierung durch Klassenbildung" bezeichnet und muß, da Invariantenbildung eine Realisation logischer Aktivität ist, mit PIAGET als reversibel bezeichnet werden.

Wir wollen das hier vorgetragene informationstheoretische Lernschema nicht auf die reversiblen Operationen der kognitiven Anpassung ausdehnen und beschränken uns daher auf die irreversible Superzeichenbildung (im Folgenden nur noch Superzeichenbildung genannt).

Die Reduktion der Informationsmenge durch irreversible Superzeichenbildung (nach FRANK "Superierung durch Geflecht-oder Komplexbildung") läßt sich folgenden formalen Kriterien unterwerfen :

Nimmt man an, eine Folge von Zeichen sei vollständig durch Superzeichen repräsentiert, die mit den Wahrscheinlichkeiten W_i ($i = 1, \dots, N$) auftreten und deren durchschnittliche Länge in Elementen die Größe 1 hat, so läßt sich die Entropie des Schemas auf Superzeichenebene angeben als :

$$I_S = - \sum_{i=1}^N W_i \lg W_i$$

und der durchschnittliche Informationsgehalt, der nach der Superzeichenbildung auf eines der ursprünglichen Elementarzeichen trifft als

$$I' = I_S / l$$

Da die Entropie des Schemas auf der Ebene der Elementarzeichen als

$$I = \sum_{i=1}^n w_i \lg w_i$$

angegeben wird, ist

$$R_S = (I - I') / I$$

ein plausibler Ausdruck für den relativen Unsicherheitsverlust (=Informationsverlust) pro Element, der durch die Superzeichenbildung herbeigeführt wurde. Der positive Aspekt des Informationsverlustes ist der Ordnungs- oder Redundanzgewinn, so daß der obige Ausdruck als Superzeichenredundanz bezeichnet werden kann.

Durch den Übergang unseres selbstorganisierenden Empfängers von der Element- zur Superzeichenebene wird die Lernzeit für den aufzunehmenden Text erheblich verkürzt; die Speicherung der Information erfolgt von diesem Zeitpunkt an mit höherer Beschleunigung als vorher, was z.B. am Verlauf der Lernkurve in Abhängigkeit von der Anzahl der Wiederholungen deutlich zu sehen sein müßte. Das plötzliche Übergehen unseres Empfängers von der Element- zur Superzeichenebene dürfte jedoch ein Grenzfall der normalen Lernsituation sein, den man beispielsweise nur dann als gegeben ansehen könnte, wenn alle zu bildenden Superzeichen dem Empfänger in noch näher zu bestimmender Weise gleich "auffällig" wären. Für den Normalfall ist es jedoch sinnvoll, anzunehmen, daß die Superzeichenbildung sukzessive, eventuell über die Bildung von Untersequenzen zustande kommt.

Bei einer solchen, psychologisch plausiblen Forderung, wird deutlich, daß zwischen der bloßen mechanischen Speicherung von element- und kontextbezogener Information (=Lernen von Einzel- bis n-Gramm-Abhängigkeiten) und der Bildung irreversibler Superzeichen ein kontinuierlicher Übergang bestehen müsse. Diese Kontinuität der (akkommodativen) Komplexbildung kann sich verständlicherweise nicht in der formalen Deskription der Informationsaufnahme - und Speicherung niederschlagen, wenn dieser, wie im obigen Fall kein inhaltlich fixiertes Modell zugrundeliegt.

Für die Phase der Adaptation unseres Empfängersystems an die Wahrscheinlichkeitsstruktur der gesendeten Nachricht bzw. des Textes und die entsprechenden empirischen Manifestationen (Wahrscheinlichkeitslernen) konnte mit der Annahme der Optimalcodierung im Binäralphabet und mit der Zusatzhypothese einer SZQ-proportionalen Vergegenwärtigung im Kurzspeicher eine inhaltliche Fixierung der aufgestellten formalen Relationen gegeben werden. Das Lernen von Übergangswahrscheinlichkeiten und Sequenzen entbehrt vorläufig einer ähnlichen "molekularen" Fixierung der zugrundeliegenden Prozesse.

Wie bei der FRANKSchen Interpretation der Schätzexperimente, besteht jedoch auch auf diesem komplexeren Sektor der informationellen Anpassung die Hoffnung, durch möglichst sparsame Annahmen über die codierungstechnischen Vorgänge beim "Erkennen" und Lernen von Sequenzen dem formalen Konzept zunächst psychologische Relevanz zu verleihen und es damit einer differenzierteren empirischen Prüfung zugänglich zu machen.

Dieser Versuch soll in der vorliegenden Arbeit unternommen werden.

Die Modellerweiterung, die den folgenden Ausführungen zugrundegelegt wird, resultiert aus einer präziseren Fassung der phänomenalen Repräsentanz dessen, was codiert werden kann, aus einer präziseren und flexibleren Fassung des Zeichenbegriffs.

Ein "Zeichen" wird gewöhnlich gleichgesetzt mit einem objektiv isolierbaren Element der gesendeten Information. Es wird dabei vernachlässigt, daß auch Kombinationen von Elementen, bedingt durch ihre unmittelbare Aufeinanderfolge in der gesendeten Nachricht und damit auch im Kurzspeicher, die Eigenschaft haben können, Element einer Nachricht zu sein und damit zum Zeichen zu werden, das als Grundlage der Codierung dient. Die Definition des Zeichenumfanges wird durch die Einräumung dieser Möglichkeit vom "externen Beobachter" hin zum Empfänger verlagert, so daß in diesem Fall unser Sendeschema auf seine physikalische Signalstruktur reduziert werden kann. Durch diese Modifikation wird die Annahme möglich, daß unser Empfänger prinzipiell fähig ist, aus der dargebotenen Nachrichtenfolge Sequenzen verschiedener Ordnungsgrade zufällig auszuwählen und als Einheiten zu speichern oder im Kurzspeicher gegenwärtig zu haben.

Man kann nun fordern, daß unser Empfänger seine Eigenschaft, die "Apperzeptionseinheiten" selbst zu definieren, in irgendeiner Weise zur Detektion von Supersequenzen ausnützt. Eine statistisch-informations-theoretische Möglichkeit für diesen Vorgang wird im folgenden Teil der Arbeit vorgestellt und in ihren Konsequenzen mit Hilfe des Computers an konkreten "Texten" simuliert. Da die theoretischen Implikationen dieses Ansatzes verschiedene Ergebnisse der konventionellen Konzepte hinsichtlich des Lernens von Sequenzen zufriedenstellend erklären können (Teil 3/IV), spricht für die inhaltliche Relevanz der bei der formalen Ableitung des Detektionsmodells notwendigen

Voraussetzungen eine gewisse Wahrscheinlichkeit.

Es handelt sich um die Annahme, daß unser Empfänger die zufällige Auswahl von Sequenzen verschiedener Länge (bis zu einer unbekannten, kapazitätsbedingten Maximallänge) in folgender Weise zu systematisieren versteht :

Er paßt sich zunächst, wie das in der Phase 2 des Lernschemas angenommen wurde, an die elementbezogene Wahrscheinlichkeitsstruktur des dargebotenen Kollektivs an mit dem Ziel der Optimalcodierung.

Zu irgendeinem Zeitpunkt, oder von Anfang an, beginnt der Empfänger zusätzlich zu den jeweils wahrgenommenen Elementen des Kollektivs auch die entsprechenden Dyaden, Triaden usw. zu berücksichtigen und zu codieren, indem er Kollektive von Sequenzen gleichen Ordnungsgrades anlegt. Auch diese Codierungen werden mit zunehmender Bekanntheit der gesendeten Nachricht optimallisiert. Es ist dabei zu fordern (siehe Modellgrundlagen), daß die Verlagerung des Apperzeptionsniveaus des Empfängers auf Komplexe höherer Ordnung immer erst dann erfolgen kann, wenn der entsprechende Komplex der jeweils niedrigeren Ordnung berücksichtigt wurde. Dadurch ist impliziert, daß bei genügender Bekanntheit der Nachricht die Darbietung der Folge ABCD beispielsweise zur nahezu simultanen Vergewärtigung der Komplexe A, AB, ABC usw. in ihrer jeweiligen binären Repräsentation führt. Aus dem Vergleich einer solchen Klasse von gleichbeginnenden Komplexen aufeinanderfolgender Ordnungen werden im folgenden Teil die Detektionskriterien und ihre Konsequenzen abgeleitet.

Ohne die Kriterien im einzelnen schon an dieser Stelle vorwegnehmen zu wollen, läßt sich die molekulare Explikation des vorliegenden Modells im Falle der Detektion eines Superzeichens bereits ergänzen :

Genügt ein Komplex des dargebotene: Kollektivs den formalen Bedingungen für die Detektion als Superzeichen, so tritt dieser Komplex hinfort als geschlossene Ganzheit auf und ist für weitere Analysen der Apperzeption unzugänglich. Er wird zu einer neuen "Einheit", was unter Umständen im "molekularen" Bereich identisch ist mit der Verhinderung weiterer Analysen.

Kurz zusammengefaßt läßt sich die eingeführte Modell-expansion auf die Formel bringen, daß die Superzeichenbildung ihrem Wesen nach nicht in der Organisation von Elementen besteht, sondern in der Selektion von bereits vorliegenden Komplexen nach bestimmten Kriterien. Diese Umkehrung des üblichen Denkansatzes bringt nicht nur formale Erleichterungen, sondern setzt eine gewisse Tradition in der Erklärung komplexer Organisationsformen des organischen Lebens fort .

Diese Tradition beginnt bei der DARWINschen Selektionstheorie, welche die nachträgliche Auswahl zufällig entstehender organischer Systeme postuliert und wird übernommen durch die Trial-and Error-Hypothese vieler Lerntheorien, die die Auswahl zweckmäßigen Verhaltens im Nachhinein annehmen. Auch die Erklärung des Denkens als "inneres Probehandeln" beruht auf einem ähnlichen Prinzip.

Trotz ihrer berühmten Vorgänger ist die geschilderte inhaltliche Festlegung sicher nicht die einzige denkmögliche molekulare Fixierung des Codierungsgeschehens, die den formalen Modellgrundlagen gerecht werden könnte.

Andererseits lassen sich wahrscheinlich auch die rein formalen Modellgrundlagen gerade in dieser Hinsicht, bei Einräumung eines komplizierteren Formalismus in ihren inhaltlichen Interpretationsmöglichkeiten flexibler gestalten.

Beim derzeitigen Komplexitätsgrad des vorzustellenden

Simulationsmodells soll jedoch diese vorläufige .
Setzung genügen, dies umso mehr, als mit Hilfe
dieser Annahme psychologisch sinnvolle Aussagen
deduziert werden können. Eine Reduktion dieses
Postulats auf elementarere , eventuell in erhöhtem
Maße auf die "autochtone Dynamik" der Superierung
rekurrierende Prozesse ist für weitere Approxima-
tionen des Simulationsmodells vorgesehen.

Durch diese kurze Darstellung der informationstheo-
retischen bzw. codierungstechnischen Grundlagen
für das im Folgenden zu deduzierende Superzeichen-
detektionsmodell ist der Stellenwert dieses Konzepts
in einer informationspsychologischen Lerntheorie
umrissen. Die Expansion dieser Theorie auf die komple-
xeren kognitiven Anpassungsmechanismen des Denkens
und Problemlösens scheint prinzipiell möglich über
die der Superzeichenbildung (zunächst in rein for-
maler Hinsicht) implizite Logik. Eine entsprechende
Deduktion kann jedoch noch nicht gegeben werden.

Wir können daher die Darstellung des informations-
theoretischen Lernmodells bei der Bildung irreversib-
ler Superzeichen unterbrechen, um diesen Vorgang
einer eingehenderen Betrachtung zu unterziehen.

Zweiter Teil

Ableitung eines Modells zur Detektion irreversibler Superzeichen

Das in diesem Abschnitt zu entwickelnde Modell ist im Wesentlichen auf einen bestimmten Versuchsplan zugeschnitten, der das Erlernen von Superzeichen über ein Kollektiv akustisch dargebotener Zeichen experimentell realisiert. Aus diesem Grunde wurden die meisten Modellgrößen bzw. Modellrelationen bereits bei der Deduktion des Modells inhaltlich interpretiert. Dies erhöht einerseits die Anschaulichkeit der formalen Erwägungen, steht aber andererseits nicht einer anderen inhaltlichen Festlegung des Modells im Wege (siehe dazu 3. Teil/IV).

Zunächst sollen die Grundannahmen des Modells, getrennt nach ihrer wissenschaftslogischen Herkunft, behandelt werden.

I. Voraussetzungen

1. Postulate, die aus bisherigen empirischen Ergebnissen ableitbar sind

Wie aufgrund früherer Arbeiten zu erwarten ist, erfolgt die unmittelbare Reproduktion voneinander unabhängiger Zeichen in funktionaler Beziehung zum

Informationsbeitrag der Zeichen im Gesamtsystem. Die Reproduktionshäufigkeiten der Zeichen sind dabei angenähert proportional zu ihrem Entropieanteil. Dieser Zusammenhang ist bei Voraussetzung einer effektiven Optimalcodierung noch deutlicher nachweisbar (vgl. FRANKSche Experimente) .

Das darzulegende Modell wird diese informationstheoretischen Vorstellungen der Verknüpfung von Reiz- und Reaktionsstruktur über die Entropiefunktion und das Konzept der effektiven Optimalcodierung als (empirisch belegte) Annahmen immer dort eingehen lassen, wo die Reproduktion bzw. Vergegenwärtigung einer Reihe von Zeichen vorliegt.

Wie oben erwähnt, implizieren diese Annahmen die Vorstellung einer Repräsentation des Zeichengefüges in binärcodierter Form im Kurzspeicher und die einer durch die verschiedenen Informationsräume der Zeichen ausgelösten unterschiedlichen Reaktionsaffinität.

Unter Zeichen sind in diesem Zusammenhang nicht nur die dargebotenen Elementareinheiten (z.B. Ziffern, Buchstaben u.ä.) zu verstehen, sondern auch Folgen dieser Elemente, die, gemäß unserer Festlegungen im vorangegangenen Kapitel, als Einheiten empfunden werden (Komplexe, Superzeichen) .

2. Postulate, die durch die versuchstechnischen Gegebenheiten nahegelegt werden

Das vorliegende Modell ist für spezielle Versuchspläne definiert und vorerst nicht auf beliebige Vorgänge gleichen psychologischen Inhalts anwendbar. Die durch die Versuchspersonen zu erlernende Zeichenreihe ist im Bezugsexperiment durch eine Folge akustischer Reizeinheiten (Zahlendyaden) repräsentiert,

die in gleichlange Darbietungsabschnitte zerlegt wird. Das Modell simuliert diesen zeitlichen Ablauf. Die Abfolge der elementaren Zeichen ist durch ihre Lage im zeitlichen Kontinuum irreversibel festgelegt, ein Faktum, das zunächst voll in die Modellkonzeption miteingeht, in einer späteren Approximationsphase jedoch als Variable auftreten wird.

3. Postulate, die formalen Modellbeschränkungen entsprechen

Aus formal-ökonomischen Erwägungen, die bei der späteren Modelldeduktion leicht einsehbar sind, werden dem Detektionsmodell folgende, vor allem die Struktur des Zeichenkollektivs betreffende Forderungen auferlegt (die bei einer späteren Generalisierung des Modells teilweise überflüssig werden) .

a) Das Modell ist für ein Zeichenkollektiv definiert, das eine Superstruktur von durchgehend gleicher Ordnung besitzt; d.h., das Zeichenkollektiv besteht ausschließlich aus verschiedenen, immer wiederkehrenden Sequenzen gleicher Länge (= gleicher Anzahl von Elementarzeichen). Die Sequenzen folgen stochastisch unabhängig aufeinander. Verwendet man als Bezeichnung für die Elementareinheiten die Buchstaben A,B,C,D,E usw. , so wird ein Zeichenkollektiv der beschriebenen Beschaffenheit durch die folgende Reihe realisiert :

A B C D E F G H A B C D A B C D ... usw.

Die Superstruktur dieses Beispiels besitzt die Ordnung 4, da die Sequenzen jeweils 4 Elementareinheiten

umfassen.

Die Superstruktur, so sei an dieser Stelle gleich vorweggenommen, muß nicht restlos übereinstimmen mit einer durch den Vorgang der Superzeichenbildung bewirkten Strukturierung des Zeichenkollektivs. Nicht nur ABCD, sondern auch ABC und AB oder BC wären durch die Elementfolge der Reihe nahegelegte Superkontexte, die unter bestimmten Bedingungen eher "erkennbar" sein können, als die restlos in der Superstruktur der Reihe aufgehenden Kontexte.

b) Die Superstruktur des Zeichenkollektivs besitzt die Ordnung 4. Durch die zufällige Variation der Sequenzen vierter Ordnung wird eine Superstruktur zweiten Grades (= Anordnung der Superzeichen zu Sätzen) vermieden, so daß die Variabilität von Sequenzen höherer als 4. Ordnung mit zunehmendem Ordnungsgrad anwächst und sich in ihrem ordnungsspezifischen Informationsgehalt der maximalen Entropie asymptotisch annähert. Das Auftreten von in gleicher Weise immer wiederkehrenden Sequenzen von Elementareinheiten wird demnach bei einen über die Ordnung 4 ansteigendem Ordnungsniveau immer unwahrscheinlicher. Da die dadurch bedingten Informationsverschiebungen durch das Modell in Zusammenhang mit der Detektion von Superzeichen gebracht werden, ist die Wahl der maximalen Ordnung, bis zu der eine Analyse durchzuführen ist, eine relevante Modellgröße. Aus rechnerischen Gründen wurde für die vorliegende Arbeit das maximale Ordnungsniveau auf 7 festgelegt.

II. Der Prozeß der Detektion von Superzeichen

Während bei der einmaligen Darbietung eines endlichen Zeichenkollektivs der Fall durchaus eintreten kann, daß die durch die Versuchspersonen, bzw. allgemeiner, durch den selbstorganisierende Empfänger detektierten Superzeichen nicht vollständig mit der objektiv eruierbaren Superstruktur des Zeichenkollektivs identisch sind (siehe oben), kann mit wachsender Darbietungshäufigkeit des gesamten Zeichenkollektivs eine immer bessere Übereinstimmung von subjektiver und objektiver Superstruktur erwartet werden. Wir wollen bei der nun folgenden Modellldeduktion den letzteren Fall annehmen. Dies bringt den Vorteil mit sich, daß die Auswahl geeigneter quantitativer Detektionskriterien in Abhängigkeit von der objektiven Superstruktur des Zeichengefüges geschehen kann !

Unter Superzeichen bzw. Superkontexten sind dann also jene Sequenzen von Elementarzeichen zu verstehen, die in gleicher Aufeinanderfolge wiederkehren und zwar bis zu einer noch näher zu bestimmenden Häufigkeit.

1. Die Annahme der ordnungsspezifischen Codierung bis zu einer Maximalordnung

Unser selbstorganisierender Empfänger sei in der Lage, die so definierten Subkollektive der Elementenreihe aus dieser zu isolieren und wie (subjektive) Elementareinheiten weiter zu verwenden.

Dazu sind folgende Annahmen nötig :

Zunächst werden alle Elementareinheiten des Kollektivs

im Empfängersystem optimalcodiert und zwar unter Bezugnahme auf das Kollektiv aller Elementareinheiten. Das gleiche geschehe mit allen (möglichen) Dyaden, Triaden usw. bis zu einem maximalen Ordnungsniveau. Dabei kann bei einem Element eine Sequenz beliebiger Ordnung beginnen.

Dies soll am bereits oben angeführten Beispiel demonstriert werden :

Zeichenkollektiv		A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	A	B	C	D
Ordnung	1	2	2	3	3	4	4	4	4	2	2	3	4	2	2	3	3
	2	2	2	3	4	4	4	4	4	2	2	3	4	2	2	3	4
	3	2	2	4	4	4	4	4	4	2	2	4	4	2	2	4	4
	4	2	3	3	4	4	4	4	4	2	3	3	4	2	3	3	4
	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

In dieser Tabelle sind für die Sequenzen der Ordnungen 1-5 (bei jedem Element des Zeichenkollektivs kann eine solche Sequenz beginnen) die ganzzahligen Informationsbeträge nach einer ordnungsspezifischen Optimalcodierung zusammengestellt.

Diese Informationswerte wurden nach dem Huffman-Verfahren erhalten (siehe Kap. VI, 4/b) . Näherungswerte an den Optimalcode liefert die Aufrundung der entsprechenden theoretischen Informationswerte. Die Programme für beide Methoden sind im Anhang einzusehen (SUBROUTINE HUFFCODE) .

Für das in der Tabelle dargestellte kleine Zeichenkollektiv befinden sich bereits auf dem Ordnungsniveau 5, jenem Niveau, das gerade über dem Ordnungsgrad der Superstruktur liegt, alle Sequenzen in idea-

ler Entropie. Dies ist natürlich nicht generell eine Eigenschaft von Kollektiven mit Superstruktur gleicher Ordnung. Dennoch kann man, wie später nachzuweisen sein wird, bei solchen Kollektiven auf dem über der Superstruktur liegenden Ordnungsniveau im Allgemeinen eine höhere Entropie erwarten als auf dem Niveau der Superstruktur.

2. Die Annahme einer kritischen Informationsdistanz als Detektionsindikator

Sind I_k und I_{k+1} die ordnungsspezifischen Informationsbeträge zweier Sequenzen auf dem Ordnungsniveau k bzw. $k+1$, wobei gefordert wird, daß beide Sequenzen beim gleichen Element des Zeichenkollektivs beginnen, so ist die Informationsdistanz beider Sequenzen definiert als $ID_{k+1;k} = I_{k+1} - I_k$

Da für die vorliegende Deduktion nur die Informationsdistanzen von dem über der Superordnung liegenden Ordnungsniveau zur Superordnung interessieren und der Superstruktur die Ordnung e zugeteilt wird, kann von vornherein folgende Vereinfachung der Symbolik eingeführt werden : $ID = ID_{e+1;e}$

Betrachten wir zunächst die ID-Werte für unser Beispiel :

Zeichenkollektiv	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	A	B	C	D
Ordnung 4		2	3	3	4	4	4	4	2	3	3	4	2	3	3	4
Ordnung 5		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Informations-																
distanz ID	2	1	1	0	0	0	0	0	2	1	1	0	2	1	1	0

Wie am konkreten Beispiel sichtbar ist, scheint

die Informationsdistanz ID ~~immer~~ dort am größten zu werden, wo der, im Beispiel relativ häufig auftretende Superkontext ABCD beginnt. ABCD genügt, unter Berücksichtigung der Vereinfachung des Beispiels, in Etwa unserer obigen Definition eines Superzeichens, so daß die Vermutung berechtigt scheint, Superzeichen seien begleitet von charakteristischen Informationssprüngen in den Optimalcodes der entsprechenden Sequenzen. Daran ließe sich die Hypothese anknüpfen, daß die Informationsdistanz ID einen bestimmten kritischen Wert IC erreichen oder überschreiten müsse, damit die zugehörige Sequenz (der jeweils niedrigeren Ordnung) als Superzeichen detektiert werde.

Wir wollen dieser Vermutung nachgehen, indem wir die Frage zu beantworten suchen, in welcher Beziehung die Größe ID zu einem wesentlichen Kriterium eines Superzeichens steht, zu seiner Auftrittshäufigkeit : Apriori sollte gefordert werden, daß das Detektionskriterium eine monoton steigende Funktion der Häufigkeit der zu detektierenden Sequenz sei.

Die Ableitung einer solchen Beziehung geschieht zunächst für unser simplifiziertes Beispiel.

Folgende Symbole sind einzuführen :

AS_j sei das erste Element des Superkontextes S_j
(den wir als apriori definierbar annehmen - siehe Voraussetzung !)

$z^I AS_j$ sei der sequenz- bzw. ordnungsspezifische Informationsgehalt einer Sequenz der Ordnung z , die bei AS_j beginnt

$N_{j,d}$ sei die Auftrittshäufigkeit des Superkontextes S_j bis zu einer beliebigen Stelle d der Zeichenfolge

N_d sei die Anzahl der Elementareinheiten bis zur Stelle d

e sei die Ordnung der Superstruktur (Superordnung)

Die folgenden Deduktionen werden mit theoretischen Informationsbeträgen durchgeführt, da effektive Informationswerte nicht in Exponentialgleichungen verwendbar sind.

Generell gilt :

$$z^{I_{ASj}} = -ld \frac{N_{j,d}}{N_d - z + 1} \quad (1)$$

Durch (1) wird der Informationsgehalt der Sequenz $z^{Sq_{ASj}}$ in Bezug auf das Kollektiv aller Sequenzen gleicher Ordnung angegeben.

Für $e^{I_{ASj}}$ kann dann angesetzt werden :

$$e^{I_{ASj}} = -ld \frac{N_{j,d}}{N_d - e + 1} \quad (2)$$

entsprechend für $e+1^{I_{ASj}}$:

$$e+1^{I_{ASj}} = +ld N_d \quad (3)$$

Gleichung (3) ist, wie erwähnt, eine für unser simplifiziertes Beispiel zugeschnittene, also spezielle Annahme. Sie ist streng genommen bei größeren Zeichenkollektiven nur dann erfüllt, wenn entweder ein Superkontext unter vielen zufällig variierenden Elementar-einheiten auftritt oder wenn ein Zeichenkollektiv mit Superstruktur aus sehr vielen Superkontexten besteht. Im Allgemeinen wird also $e+1^{I_{ASj}}$ unter dem maximalen Grenzwert von $ld N_d$ liegen. Wir wollen uns jedoch daran erinnern, daß zunächst nur eine monoton steigende Beziehung zwischen Detektabilität und Auftretshäufigkeit von Superkontexten nachgewiesen werden sollte. Dies wiederum läßt sich am Grenzfall am anschaulichsten demonstrieren.

(Die Ableitung differenzierterer Beziehungen zwischen

Detektionskriterium und Auftretshäufigkeit ist für die folgenden Kapitel vorgesehen !)

Aus (2) und (3) folgt für ID :

$$ID_d = e^{+1} I_{ASj} - e I_{ASj} \quad (4)$$

oder

$$ID_d = \lg N_d + \lg \frac{N_{j,d}}{N_d - e + 1} \quad (4a)$$

Unter der Annahme, daß N_d sehr viel größer als e ist, eine Annahme, die gewöhnlich realisiert sein dürfte, geht (4a) über in :

$$ID_d = \lg N_d + \lg N_{j,d} - \lg N_d$$

$$ID_d = \lg N_{j,d} \quad (5)$$

In Worten : Die Informationsdistanz ID_d des wiederholt auftretenden Superkontextes S_j zur entsprechenden Sequenz höherer Ordnung bis zur Stelle d der Zeichenfolge ist proportional dem Logarithmus dualis aus der Auftretshäufigkeit dieses Superkontextes bis zur Stelle d , $N_{j,d}$.

Diese Beziehung ist als Grenzfall anzusehen, demonstriert aber deutlich die mögliche empirische Relevanz des Detektionskriteriums !

III. Übertragung des Detektionsschemas auf die Modellgrundlagen

Prämissen unserer Modellkonstruktion sind die einheitliche Ordnung der Superstruktur (Ordnungsniveau 4) sowie die statistisch unabhängige Aufeinanderfolge der (zunächst apriori festgelegten) Superkontexte. Aus diesen Voraussetzungen und dem Detektionsschema läßt sich nun ein probabilistisches Modell deduzieren, das für den Zeitpunkt der Detektion eines beliebigen Superkontextes (= Versuchsstadium, in dem die Detektion stattfindet) eine Schätzung mit beliebiger Konfidenzwahrscheinlichkeit liefert.

Dazu ist die Einführung weiterer Modellgrößen notwendig, deren grundsätzliche Interrelationen in diesem Kapitel vorgestellt werden sollen. Im darauffolgenden Kapitel (IV) erfolgt dann die Expansion dieser Grundbeziehungen zum erwähnten probabilistischen Modell. Da für dieses Modell ein Computerprogramm entwickelt wurde, ist die Notierung der einzelnen Größen bereits in diesem Kapitel zum Teil an das entsprechende Programm PROGNOSE (vgl. Anhang) angeglichen.

Definition weiterer Modellgrößen :

NG sei die Anzahl der Elementarzeichen des Gesamtkollektivs

NES sei die Anzahl der Sequenzen maximaler Länge im Gesamtkollektiv (wobei alle möglichen Sequenzen zu berücksichtigen sind) . Der Einfachheit wegen diene diese, bei großem NG wenig von NG verschiedene Größe auch für die Gesamtanzahl von Sequenzen anderer Ordnungen als Bezugsgröße.

Es gilt :

$$NES = NG - KOMAX + 1 \quad (6)$$

Durch Gleichung (6) ist die Größe KOMAX definiert als die Maximalordnung.

NV sei die Länge eines Versuchsstadiums bezüglich des Zeichenkollektivs. NV entspricht also der Anzahl der Elementareinheiten für dieses Stadium.

IM sei die Anzahl der Versuchsstadien bis zur Stelle M des Gesamtkollektivs (= Ende eines beliebigen Versuchsstadiums)

NM sei die Länge des Zeichenkollektivs bis zur Stelle M
Es gilt demnach :

$$NM = IM \cdot NV \quad (7)$$

NMAX sei die Anzahl der Sequenzen maximaler Ordnung bis zur Stelle M. NMAX ist von NM wenig verschieden und dient wie NES ebenfalls als Bezugsgröße für alle Sequenzen niedrigerer Ordnung.

Aus (7) und (6) folgt :

$$NMAX = NM - KOMAX + 1$$

W_I ($I = 1, 2, 3, \dots, IL$) seien einseitige Vertrauenswahrscheinlichkeiten bezüglich der Normalverteilung

Z_I ($I = 1, 2, 3, \dots, IL$) seien die zu W_I gehörigen z-Werte

$S_{KS,e}$ ($KS = 1, 2, \dots, KON$) seien die apriori definierten Superkontexte der Ordnung e.

$PK_{KS,e}$ ($KS = 1, 2, \dots, KON$) seien die Wahrscheinlichkeiten dieser Superkontexte auf dem Ordnungsniveau e (ordnungsspezifische Wahrscheinlichkeiten)

KON ist, wie aus den letzten beiden Definitionen bereits hervorgeht die Anzahl der Superkontexte

ID sei die Informationsdistanz zweier Sequenzen gleichen Beginns bezüglich der Ordnungsniveaus e und e+1

IC sei jener Wert von ID, der zur Detektion führt
(kritische Informationsdistanz)

$PKMIN_{KS,e}$ sei die Wahrscheinlichkeit jener Sequenz
auf dem Ordnungsniveau e , die dem Superkontext
 $S_{KS,e}$ am seltensten folgt.

MIN (.....) sei ein Operator, der das Minimum einer
Reihe von Werten festlegt.

Mit Hilfe dieser Definitionen lassen sich nun folgen-
Aussagen formulieren :

Da die Superkontexte $S_{ks,e}$ perdefinitionem stochastisch
unabhängig voneinander sind, alle gleiche Länge besitzen
und das Zeichenkollektiv lückenlos determinieren, ist
auf dem Ordnungsniveau e jener Superkontext mit der
geringsten Auftretswahrscheinlichkeit auch gleich-
zeitig jener, der bezüglich eines beliebigen anderen
Superkontextes die geringste Nachfolgewahrscheinlich-
keit besitzt. Es gilt demnach :

$$PKMIN_{KS,e} = MIN (PK_{1,e} , PK_{2,e} \dots\dots PK_{KON,e}) \quad (9)$$

$PKMIN_{KS,e}$ ist für die Detektion des zugehörigen
Superkontextes $S_{KS,e}$ von Bedeutung. Dies erhellt
aus folgender Überlegung :

Die Auftretswahrscheinlichkeit der Sequenzen der Ord-
nung $e+1$ kann man sich determiniert denken durch die
Auftrittswahrscheinlichkeit der entsprechenden Sequen-
zen der Ordnung e und jene der Folgesequenzen.

Da die Ordnung e die Ordnung der Superstruktur ist
und andererseits zunächst nur die Detektion der (apriori
festgelegten) Superkontexte interessiert, kann diese

Vorstellung auf folgendes Schema eingengt werden :

Tritt ein Superkontext mit der Wahrscheinlichkeit $PK_{KS,e}$ auf und der ihm nachfolgende Superkontext mit der Wahrscheinlichkeit $PK_{KS',e}$, so ergibt sich, bei stochastischer Unabhängigkeit beider Superkontexte die Wahrscheinlichkeit der Sequenz $S_{KS,e+1}$, die bei dem gleichen Element wie $S_{KS,e}$ beginne, als das Produkt beider Wahrscheinlichkeiten.

$$PK_{KS,e+1} = PK_{KS,e} \cdot PK_{KS',e} \quad (10)$$

Der ordnungsspezifische Informationsgehalt der Sequenz $S_{KS,e+1}$ kann angegeben werden als

$$I_{KS,e+1} = - \lg PK_{KS,e} - \lg PK_{KS',e} \quad (11)$$

Der ordnungsspezifische Informationsgehalt des entsprechenden Superkontextes $S_{KS,e}$ errechnet sich als

$$I_{KS,e} = - \lg PK_{KS,e} \quad (12)$$

Aus (11) und (12) läßt sich die Informationsdistanz $ID_{KS,e}$ bestimmen als

$$ID_{KS,e} = I_{KS,e+1} - I_{KS,e}$$

$$ID_{KS,e} = - \lg PK_{KS,e} - \lg PK_{KS',e} + \lg PK_{KS,e}$$

$$ID_{KS,e} = - \lg PK_{KS',e} \quad (13)$$

Das Maximum von $ID_{KS,e}$ wird dann erreicht, wenn $PK_{KS',e}$ ein Minimum wird. Dies ist aber per definitionem bei $PK_{MIN_{KS,e}}$ der Fall (vgl. (9)).

Aus (9) und (13) folgt :

$$IDMAX_{KS,e} = - \lg (\min(PK_{1,e}, PK_{2,e}, \dots, PK_{KON,e})) \quad (14)$$

Da für die Detektion IDMAX den Wert IC erreichen oder überschreiten muß, kann folgende Ungleichung als Detektionsbedingung für $S_{KS,e}$ formuliert werden :

$$\begin{aligned} - \lg PKMIN_{KS,e} &\geq IC \\ PKMIN_{KS,e} &\leq 2^{(-IC)} \end{aligned}$$

oder

$$\min (PK_{1,e}, PK_{2,e}, \dots, PK_{KON,e}) \leq 2^{(-IC)} \quad (15)$$

Diese Bedingung kann jedoch für die tatsächliche, sichere Detektion von $S_{KS,e}$ nicht hinreichend sein, da die ihr zugrundeliegende Konstellation (= Zustandekommen der Sequenz $S_{KS,e+1}$) nicht mit der Wahrscheinlichkeit 1, sondern mit der Wahrscheinlichkeit $PDET_{KS,e}$ eintritt:

$$PDET_{KS,e} = PK_{KS,e} \cdot \min (PK_{1,e}, PK_{2,e}, \dots, PK_{KON,e}) \quad (16)$$

Der für die Detektion eines Superkontextes ausschlaggebende Wert von PDET schwankt von Versuchsstadium zu Versuchsstadium in Abhängigkeit von der statistischen Schwankung seiner Parameter.

Aus (7), (8) und (16) läßt sich eine Ungleichung für die Konfidenzgrenzen der Detektionswahrscheinlichkeit PDET für $S_{KS,e}$ geben, die in Abhängigkeit von einem beliebigen Versuchsstadium formuliert wird :

Zunächst die Standardabweichung der Zufallsschwankungen von $PKMIN_{KS,e}$ und $PK_{KS,e}$:

$$\sigma_{PKMIN_{KS,e}} = \pm \sqrt{\frac{PKMIN_{KS,e} (1 - PKMIN_{KS,e}) (NES - NMAX)}{NMAX \cdot (NES - 1)}} \quad (16a)$$

$$\sigma_{PK_{KS,e}} = \pm \sqrt{\frac{PK_{KS,e} (1 - PK_{KS,e}) (NES - NMAX)}{NMAX \cdot (NES - 1)}} \quad (16b)$$

Unter Verwendung der Normalverteilung als Bezugsmodell resultieren für $PKMIN_{KS,e}$ und $PK_{KS,e}$ folgende Konfidenzgrenzen:

$$P(-Z_I \sigma_{PKMIN_{KS,e}} \leq PKMIN_{KS,e} \leq Z_I \sigma_{PKMIN_{KS,e}}) = (1 - 2W_I) \quad (16c)$$

$$P(-Z_I \sigma_{PK_{KS,e}} \leq PK_{KS,e} \leq Z_I \sigma_{PK_{KS,e}}) = (1 - 2W_I) \quad (16d)$$

Als für die Detektion optimale Konstellation ergibt sich die Kombination aus dem Konfidenzminimum von $PKMIN$ und dem Konfidenzmaximum von PK :

$$opt \ PDET_{KS,e} = (PK_{KS,e} + Z_I \sigma_{PK_{KS,e}})(PKMIN_{KS,e} - Z_I \sigma_{PKMIN_{KS,e}}) \quad (16e)$$

Die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten dieser Kombination ist gleich W_I .

Die in den Konfidenzgleichungen auftretenden Standardabweichungen sind Abhängige von $NMAX$ und damit auch von der Anzahl der Versuchsstadien IM . Da σ mit dem Anwachsen von IM geringer wird, verringert sich mit wachsender Darbietungszahl der Einfluß von Stichprobeneffekten. Soviel zur Stichprobenabhängigkeit von $PDET$, die paradigmatisch für die Stichprobenabhängigkeit aller Wahrscheinlichkeitswerte des Modells kurz dargestellt werden sollte !

Durch $PDET_{KS,e}$ wird die Wahrscheinlichkeit angegeben, mit der die Detektion des Superkontextes $S_{KS,e}$ erfolgt,

wenn das zweite Glied des Produktes, MIN (...) der durch (15) formulierten Detektionsbedingung genügt. Es kann nun aber der Fall eintreten, daß nicht nur der Nachfolger des Superkontextes $S_{KS,e}$ mit der geringsten Wahrscheinlichkeit der Detektionsbedingung (15) genügt, sondern , daß auch häufigere Nachfolger von $S_{KS,e}$ diese Bedingung erfüllen. Gleichung (16) ist dementsprechend zu generalisieren :

Bezeichnet man die Wahrscheinlichkeitswerte aller Nachfolger von $S_{KS,e}$, die der Bedingung (15) genügen durch $PK_{KS'',e}$, so läßt sich die Expansion von (16) wie folgt formulieren :

$$PDET_{KS,e} = PK_{KS,e} \cdot \sum_{KS''} PK_{KS'',e} \quad (17)$$

Durch den unter dem Summenzeichen stehenden Ausdruck der Gleichung (17) wird die durchschnittliche Detektionschance für alle Superkontexte unter Vernachlässigung der jeweiligen Auftrittswahrscheinlichkeiten angegeben. Wir wollen diese mit PIC bezeichnen :

$$PIC = \sum_{KS''} PK_{KS'',e} \quad (18)$$

PIC ist nur bei stochastischer Unabhängigkeit aller Superkontexte eines Kollektivs für alle Superkontexte gleich. Für unser Modell werden Unterschiede in der Detektabilität der einzelnen Kontexte nur durch deren Auftrittswahrscheinlichkeiten bewirkt. Wird PIC zu 1, so ist damit für alle möglichen Vorgänger der Sequenzen $S_{KS'',e}$, also für alle überhaupt auftretenden Superkontexte die Detektion gesichert.

Die bisher abgeleiteten Modellrelationen komplizieren sich, wenn der Verlauf der Detektionen und die damit verbundenen Implikationen in Betracht gezogen werden :

Ist bei einem (der apriori festgelegten) Superkontexte die Detektion nach obigen Kriterien erfolgt, so wird , laut Voraussetzung, die dadurch betroffene Sequenz von Elementarzeichen für weitere Manipulationen (= Einbeziehung in Kontextbildungen) unzugänglich. Das Kollektiv der für die Detektion der noch nicht detektierten Superkontexte maßgeblichen Sequenzen reduziert sich somit jeweils nach der erfolgten Detektion eines der Superkontexte.

Wollen wir diese Reduktionen für die beiden Kontextordnungen e und e+1 getrennt ins Auge fassen :

Wie für alle weiteren Deduktionen wird im Folgenden zum ersten Mal explizit angenommen, daß für die Detektion eines Superkontextes in einem bestimmten Versuchsstadium IM, bzw. für die Erstellung der Detektionsbedingungen für dieses Versuchsstadium jeweils die gesamte bisherige Darbietung des Zeichenkollektivs (= NMAX Elementarzeichen) berücksichtigt wird. Bei dieser Annahme handelt es sich um eine vereinfachende Fiktion, die, wie später zu beweisen sein wird, nur die Zeitpunkte der einzelnen Detektionen, nicht aber die Charakteristika des Detektionsverlaufs modifizieren kann. (Vgl. Kap. VI/4)

In einem beliebigen Versuchsstadium IM finde die Detektion des Superkontextes $S_{KS,e}$ statt, den wir von diesem Zeitpunkt an mit $S_{KS,e}^D$ bezeichnen wollen. Von den bis zum Ende des vorliegenden Versuchsstadiums IM dargebotenen NMAX Elementarzeichen entfallen für weitere Detektionen NMI Elemente.

Bezeichnet man mit S die Länge einer beliebigen Sequenz (in Elementarzeichen) , mit D die Länge der Sequenzen auf dem Niveau der Superstruktur (=Detektionsniveau) , so ergibt sich für den sog. Extraktionswert E, der die Anzahl der durch die Detektion ausfallenden Sequenzen wiedergibt :

$$E = S+D-1$$

$$(19)$$

Durch D wird in dieser Gleichung das jeweilige Ordnungsniveau des Extraktionsausfalls berücksichtigt.

Auf dem Niveau e ergibt sich nun für NMI folgender Wert :

$$\begin{aligned} \text{NMI}_e &= E \cdot \text{PK}_{\text{KS},e}^D \cdot \text{NMAX} - E (\text{PK}_{\text{KS},e}^D)^2 \cdot \text{NMAX} = \\ &= E \cdot \text{NMAX} \cdot \text{PK}_{\text{KS},e}^D (1 - \text{PK}_{\text{KS},e}^D) \end{aligned} \quad (20)$$

Es verbleiben NRED_e Sequenzen für weitere Manipulationen:

$$\text{NRED}_e = \text{NMAX} - \text{NMI}_e \quad (21)$$

Auf dem Ordnungsniveau e reduziert sich so bei vorhergegangener Detektion des Superzeichens I (= 1. Detektion) die Wahrscheinlichkeit eines noch nicht detektierten Superkontextes (ordnungsspezifische Wahrscheinlichkeit) auf

$$I_{\text{KS},e}^{\text{PK}} = \frac{\text{PK}_{\text{KS},e} \cdot \text{NMAX}}{I_{\text{NRED}_e}} \quad (22)$$

Auf dem Kontextniveau e+1 gilt dann :

$$I_{\text{KS},e+1}^{\text{PK}} = \frac{\text{PK}_{\text{KS},e} \cdot \text{NMAX}}{I_{\text{NRED}_{e+1}}} \quad (23)$$

$I_{\text{KS},e+1}^{\text{PK}}$ ist, bedingt durch das Anwachsen der Größe E auf diesem Ordnungsniveau, geringer als $I_{\text{KS},e}^{\text{PK}}$, so daß auf dem Ordnungsniveau e einige Kontexte existieren, denen auf e+1 kein Vergleichskontext mehr gegenübersteht.

Aus Gleichung (22) und aus Gleichung (23) läßt sich nun für den Kontext $S_{\text{KS},e}$ die Informationsdistanz $I_{\text{KS},e}^{\text{ID}}$ bestimmen :

$$\begin{aligned}
 I^{ID}_{KS,e} &= -ld \ I^{PK}_{KS,e+1} + ld \ I^{PK}_{KS,e} \\
 I^{ID}_{KS,e} &= -ld \frac{PK_{KS,e+1} \cdot NMAX}{I^{NRED}_{e+1}} + ld \frac{PK_{KS,e} \cdot NMAX}{I^{NRED}_e}
 \end{aligned}
 \tag{24}$$

$PK_{KS,e+1}$ läßt sich wieder zerlegen in das Produkt $PK_{KS,e} \cdot PK_{KS',e}$, wobei sich aus $-ld \ PK_{KS,e+1}$ die Summe $-ld \ PK_{KS,e} - ld \ PK_{KS',e}$ ergibt. (Vgl.(11))

Für $PK_{KS',e} = I^{PKMIN}_{KS,e}$ wird $I^{ID}_{KS,e}$ ein Maximum. Die Größe $I^{PKMIN}_{KS,e}$ wird erhalten durch die Anwendung des Operators $MIN(...)$ auf alle Wahrscheinlichkeiten der Superkontexte mit Ausnahme der Wahrscheinlichkeit des Superkontextes I .

$$-IDMAX_{KS,e} = -ld \frac{I^{PKMIN}_{KS,e} \cdot I^{NRED}_e}{I^{NRED}_{e+1}}
 \tag{25}$$

Auf die Expansion der Gleichung (25) auf den Fall mehrerer Detektionen soll hier nicht eingegangen werden, da die Programmierung PROGNOSE dieses Problem sukzessive löst (siehe Kap. IV).

Die Beschreibung des probabilistischen Modells PROGNOSE ist der Inhalt des folgenden Kapitels. Die wesentlichen Bestimmungsgleichungen für dieses Modell wurden im vorliegenden Kapitel vorgestellt.

IV. Beschreibung des probabilistischen Detektions- Konfidenz-Modells und des korrespondierenden Programms PROGNOSE

Um aus den obigen Prämissen und wahrscheinlichkeitstheoretischen Deduktionen ein System zu konstruieren, das den Vorgang der Superzeichendetektion zureichend reflektiert, genügt die klassische Mathematik allein nicht mehr. Ihr statischer (tautologischer) Charakter ist zunächst unvereinbar mit dem prozessualen Aspekt der Detektion. Erst mit der Ergänzung der mathematischen Gleichungen durch kybernetische (Steuerungs-) Anweisungen bzw. logische Entscheidungen gelingt es, den zeitlichen Ablauf in den Griff zu bekommen. Dies wiederum geschieht in exakter Weise durch die Übersetzung des verbal- bzw. mathematisch-deskriptiven Modells in die kybernetische Sprache eines Computer-Programms.

Da für die vorliegende Arbeit die Kenntnis einer solchen Computer-Sprache nicht vorausgesetzt werden soll, wird im Folgenden die verbale Charakterisierung des Detektions-Konfidenz-Modells anhand einer Flußdiagramm-Darstellung des entsprechenden Programms PROGNOSE im Vordergrund stehen. Die einzelnen Segmente des Flußdiagramms sind mit den gleichen Titeln versehen wie die analogen Programmteile von PROGNOSE .

Das Detektions-Konfidenz-Modell verfolgt den Zweck, die inferenzstatistischen Implikationen der oben beschriebenen Detektionstheorie aufzuzeigen und dies unter fortgesetzter Variation der modellrelevanten Parameter, z.B. kritische Informationsdistanz (IC), Konfidenzwahrscheinlichkeit (W), Superstruktur des

Gesamtkollektivs, Detektionseinfluß eines abweichenden Initialkollektivs usw.. Für jede Parameterkonstellation wird ein Superzeichendetektionsprozeß über eine konstante Anzahl von Versuchsabschnitten simuliert. Die Detektion eines bestimmten Superzeichens in einem bestimmten Versuchsabschnitt ist der von der Parameterkonstellation abhängige Modell-Output.

Auch dieses Modell verwendet die theoretische (logarithmische) Berechnung der Informationsbeträge und kann deshalb nur als eine Approximation an die später zu besprechenden effektiven Simulationsmodelle gesehen werden.

Bevor das Anliegen des Detektions-Konfidenz-Modells detaillierter geschildert werden kann, sollte aus didaktischen Gründen seine eingehende Darstellung erfolgen.

Wie der Name Detektions-Konfidenz-Modell bereits nahelegt, soll für die jeweiligen Detektionsbedingungen und den dazugehörigen Modelloutput der Konfidenzbereich berechnet werden, d.h. die Wahrscheinlichkeit dafür, daß unter bestimmten Bedingungen ein Superkontext X zwischen den Versuchsstadien a und b (inklusive) detektiert wird. a und b sind in diesem Zusammenhang als Konfidenzgrenzen zu bezeichnen, wobei unter a offenbar jenes Versuchsstadium zu verstehen ist, in dem bei gegebener Wahrscheinlichkeit frühestens die Detektionsbedingungen für X erfüllt sind, unter b jenes Versuchsstadium, in dem spätestens die Detektion erfolgt.

Aus den Ableitungen des letzten Kapitels war ersichtlich, daß die Detektion eines Superkontextes abhängt von der Wahrscheinlichkeit des Kontextes, wie vom Minimum der Wahrscheinlichkeiten aller seiner Nach-

folgerkontexte (Gleichung(16)) . Die relevanten Wahrscheinlichkeiten wurden bei diesen Deduktionen als stationär angenommen. Wir können im Prinzip diese stationären Beziehungen in das Detektions-Konfidenz-Modell übernehmen, jedoch mit der Ergänzung, daß die Wahrscheinlichkeitskonstanz immer nur für ein bestimmtes Versuchsstadium gilt. Natürlich existiert über den Gesamtversuch eine für ein bestimmtes Ausgangskollektiv (=Gesamtkollektiv) von Superkontexten konstant bleibende "durchschnittliche" Wahrscheinlichkeitsstruktur. Diese unterliegt jedoch bezüglich der einzelnen Versuchsstadien statistischen Schwankungen, die sich für diese Stadien detektionshemmend bzw. detektionsfördernd auswirken können (vgl. Gleichungen (16 a-e)) .

Wie oben, so wird auch für dieses Modell ein Versuchsstadium gleichgesetzt mit der Länge des Zeichenkollektivs von Beginn an bis zur Stelle M (entspricht der Anzahl von NMAX Elementareinheiten bzw. von NMAX Sequenzen beliebiger Ordnung). Das Ausmaß der statistischen Abweichung der Wahrscheinlichkeitsproportionen in einem Versuchsstadium von jenen des Gesamtkollektivs ist somit abhängig von NMAX und der gewählten Konfidenzwahrscheinlichkeit. Als Maß für die Divergenz der partiellen von der durchschnittlichen (= erwarteten) Wahrscheinlichkeitsstruktur diene das Chi-Quadrat über die entsprechenden Häufigkeitsunterschiede.

Es interessieren nun vor allem jene von der Erwartung abweichenden Wahrscheinlichkeitskonstellationen, von denen eine maximale Beeinflussung des gesamten Detektionsverlaufs erwartet werden kann. Da der Detektionszeitpunkt für einen bestimmten Superkontext mehr oder weniger durch die Wahrscheinlichkeitsstruktur des gesamten Kollektivs determiniert ist (vgl. Gleichung (17)), scheint es am günstigsten zu sein, die statistischen Schwankungen durch ein globales Strukturmaß festzulegen. Durch dieses Maß sollte so etwas wie die Wahr-

scheinlichkeitskonzentration des Kollektivs hinsichtlich seiner Superstruktur erfaßt werden :

Eine Abweichung von der erwarteten Wahrscheinlichkeitsstruktur in Richtung höhere Wahrscheinlichkeitskonzentration würde bedeuten, daß die in der erwarteten Struktur bereits überdurchschnittlichen Wahrscheinlichkeitswerte überbetont würden, die unterdurchschnittlichen weiter reduziert. Das Gegenteil davon wäre die Nivellierung der erwarteten Wahrscheinlichkeitsstruktur durch Reduzierung der überdurchschnittlichen Erwartungswahrscheinlichkeiten und Erhöhung der unterdurchschnittlichen.

Es steht zu vermuten, daß ein Maß für die Wahrscheinlichkeitskonzentration sich in guter Korrelation mit der gesamten Detektionsleistung befindet, da durch Modifikationen der Wahrscheinlichkeitskonzentration in Richtung ihrer beiden (innerhalb statistischer Grenzen möglichen) Extreme sowohl die oben als detektionsrelevant erkannten Wahrscheinlichkeiten der Superkontexte (PK_{KS}) die ganze Skala ihrer durch die Gesamtkonstellation eingeschränkten Möglichkeiten durchlaufen, als auch, mit ihnen, die ebenfalls detektionsrelevanten Minima der Wahrscheinlichkeitskonstellation. Man kann daher annehmen, daß die durch ein Konzentrationsmaß bestimmten Schwankungsgrenzen der Kollektivstruktur auch hinsichtlich der Detektion einen maximalen Schwankungsbereich festlegen.

Im Folgenden soll nun ein Konzentrationsmaß definiert und operationalisiert werden, das diesen Vorstellungen in Etwa entspricht. Wie bereits angedeutet könnte dies durch zwei gegenläufige Operatoren bewerkstelligt werden, einen konzentrationserhöhenden, der bei einem Satz von Wahrscheinlichkeiten, die sich zu 1 aufsummieren, die über dem gemeinsamen Durchschnitt liegenden Werte (X^+) mit einem durch die vorher festgelegte statistische Gesamtabweichung bestimmten Abweichungsanteil

erhöht, die unter dem gemeinsamen Durchschnitt liegenden Wahrscheinlichkeiten (X^-) um den ihnen entsprechenden Anteil reduziert und einen konzentrationssenkenden Operator, der die dazu gegenteiligen Operationen impliziert (Wahrscheinlichkeitsnivellierung).

Da wir als statistisches Modell für die Gesamtabweichung von Wahrscheinlichkeits- bzw. Häufigkeitsstrukturen die Chi-Quadrat-Funktion gewählt haben, errechnen sich die Teil-Chi-Quadratwerte für die einzelnen Superkontexte auf die folgende Weise :

Den Erwartungswerten sind die über das ganze Kollektiv erwarteten Wahrscheinlichkeiten der Superkontexte (PS_{KS}) zugrundegelegt.

E_i ($i = 1, \dots, KON$) seien die stichprobenbezogenen Erwartungen bezüglich der Superkontexte, B_i die entsprechenden effektiv auftretenden Stichprobenhäufigkeiten (die einmal konzentrationserhöhend, einandermal nivellierend angenommen werden sollen). In beiden Fällen handle es sich um Häufigkeiten.

Für das Gesamtabweichungs-Chi-Quadrat läßt sich dann ansetzen :

$$\chi^2_{ges} = \sum_{i=1}^{KON} \frac{(E_i - B_i)^2}{E_i} \quad (26a)$$

In unserem Fall wird ein bestimmtes Chi-Quadrat (das einer vorher festgelegten Wahrscheinlichkeit entspricht) vorausgesetzt (Voraussetzung I). Weiter wird angenommen, daß die Abweichung so erfolgt, daß bei Konzentrationserhöhung unter dem Mittelwert aller Wahrscheinlichkeiten liegende Werte erniedrigt werden, darüberliegende erhöht, bei Nivellierung umgekehrt (Voraussetzung II) Gesucht ist nun eine Konstellation von B-Werten, die diesen Bedingungen genügt.

Es gilt :

$$\sum_{i=1}^{KON} E_i = \sum_{i=1}^{KON} B_i = NMAX \quad (26b)$$

Spaltet man den Chi-Quadrat-Wert von (26a) auf in seine Teil-Chi-Quadrat-Werte $\chi^2_{\text{Part } i}$, so gelten für diese folgende Beziehungen :

$$\frac{(E_i - B_i)^2}{E_i} = \chi^2_{\text{Part } i} \quad (26c)$$

aus (26c) folgt :

$$B_i = E_i \pm \sqrt{\chi^2_{\text{Part } i} \cdot E_i} \quad (26d)$$

Aus der Gültigkeit von (26b) kann gefordert werden :

$$\sum_{i=1}^{\text{KON}} \pm \sqrt{\chi^2_{\text{Part } i} \cdot E_i} = 0 \quad (26e)$$

Voraussetzung II fordert eine differenzierte Berechnung von Chi-Quadrat für die Werte, die über dem gemeinsamen Mittel liegen (E^+) und jene, die darunter liegen (E^-). Daraus ergeben sich folgende Beziehungen :

$$B_k^- = E_k^- \mp \sqrt{\chi^2_{\text{Part } k} \cdot E_k^-} \quad (26f)$$

(- bei Konzentrationserhöhung, + bei Nivellierung)

$$B_l^+ = E_l^+ \pm \sqrt{\chi^2_{\text{Part } l} \cdot E_l^+} \quad (26g)$$

(+ bei Konzentrationserhöhung, - bei Nivellierung)

Aus (26e), (26f) und (26g) folgt :

$$\sum_{k=1}^{\text{NSL}} \sqrt{\chi^2_{\text{Part } k} \cdot E_k^-} = \sum_{l=1}^{\text{NSL2}} \sqrt{\chi^2_{\text{Part } l} \cdot E_l^+} \quad (26h)$$

wobei definiert wird, daß NSL1 die Anzahl der E^- -Werte, NSL2 die Anzahl der E^+ -Werte angibt.

Setzt man (aus Vereinfachungsgründen) weiter :

$$\chi^2_{\text{Part } 1} = \chi^2_{\text{Part } 2} = \dots \text{ usw.} \quad (26i)$$

für alle NSL1 Teil-Chi-Quadratwerte der unter dem Durchschnitt liegenden Erwartungen und entsprechend

$$\chi^2_{\text{Part 1}} = \chi^2_{\text{Part 2}} = \dots \quad (26j)$$

für alle Teil-Chi-Quadratwerte der über dem Durchschnitt liegenden Erwartungen, so reduziert sich (26h) zu :

$$\sqrt{\chi^2_{\text{Part}} - \sum_{k=1}^{\text{NSL1}} \sqrt{E_k^-}} = \sqrt{\chi^2_{\text{Part}} + \sum_{l=1}^{\text{NSL2}} \sqrt{E_l^+}} \quad (26k)$$

daraus folgender Quotient :

$$\frac{\chi^2_{\text{Part}} - \sum_{l=1}^{\text{NSL2}} \sqrt{E_l^+}}{\chi^2_{\text{Part}} + \sum_{k=1}^{\text{NSL1}} \sqrt{E_k^-}} = \quad (26l)$$

weiter gilt :

$$\text{NSL1} \cdot \chi^2_{\text{Part}} - \sum_{l=1}^{\text{NSL2}} \sqrt{E_l^+} + \sum_{k=1}^{\text{NSL1}} \sqrt{E_k^-} = \chi^2_{\text{ges}} \quad (26 m)$$

Aus den Gleichungen (26l) und (26m) können die Werte für χ^2_{Part} und χ^2_{Part} erhalten werden. Die Lösungsformel für χ^2_{Part} lautet :

$$\chi^2_{\text{Part}} = \sqrt{\frac{\chi^2_{\text{ges}}}{\sum_{l=1}^{\text{NSL2}} \sqrt{E_l^+} + \sum_{k=1}^{\text{NSL1}} \sqrt{E_k^-}}} \quad (26)$$

Durch die Gleichungen (26) und (26m) lassen sich nun die in den Gleichungen (26f) und (26g) vorkommenden Teil-Chi-Quadratwerte errechnen und damit auch die von der Erwartung abweichenden Werte B . Die Konstellation dieser B -Werte erfüllt die Voraussetzung II und entspricht insgesamt einer Abweichung, die durch den Gesamt-Chi-Quadratwert repräsentiert ist (Voraussetzung I).

Der Gesamt-Chi-Quadratwert wiederum besitzt eine bestimmte Überschreitungswahrscheinlichkeit, die aber nur seine Größe, nicht sein Zustandekommen berücksichtigt. In unserem Fall liegt ja nicht eine beliebige Abweichung eines bestimmten Ausmaßes vor, sondern eine, die auf eine spezielle Art zustande kommt (vgl. Voraussetzung II !). Die Wahrscheinlichkeit, daß gerade diese und keine andere Konstellation unseren Gesamt-Chi-Quadratwert erzeugt errechnet sich nach den Regeln der Kombinatorik aus der Anzahl der Freiheitsgrade des Gesamt-Chi-Quadrat (FG) :

WCHI sei die Überschreitungswahrscheinlichkeit des Gesamt-Chi-Quadratwertes, WV die Wahrscheinlichkeit einer bestimmten Abweichungsstruktur. Diese Abweichungsstruktur besitzt KON-1 (=FG) Freiheitsgrade. Genau FG B -Werte sind nun frei wählbar. Wollen wir diese Wählbarkeit reduzieren auf die Abweichungsrichtung von der Erwartung, was für unser obiges Problem relevant ist, so vereinfacht sich unsere Frage : Es geht nur noch darum, die Wahrscheinlichkeit für eine beliebige Konstellation von KON-1 B^+ bzw. B^- werten zu bestimmen. Nach der Gleichung für Variationen errechnet sich dann WV als :

$$WV = (1/2)^{KON-1} \quad (27)$$

Das Produkt aus der Chi-Quadrat-bezogenen und der Konstellations-bezogenen Wahrscheinlichkeit ergibt nun die korrigierte Überschreitungswahrscheinlichkeit für nach dem obigen Verfahren berechnete Ab-

weichungen :

$$WG = WCHI \cdot WV \quad (28)$$

Diese Methode der Berechnung der Abweichung einer bestimmten Partialstruktur von der Erwartung wie der zugehörigen Überschreitungswahrscheinlichkeit wird nur auf das "Initialkollektiv" (= Zeichenreihe des ersten Versuchsstadiums) des jeweiligen Gesamtkollektivs angewandt. (Programmteil "Konstruktion des maximal abweichenden Initialkollektivs über die Chi-Quadratfunktion")

Die dadurch provozierte Abweichung wird bis zum letzten Versuchsstadium, das identisch ist mit dem Gesamtkollektiv, sukzessive kompensiert (Programmteil "Konstruktion des Residualkollektivs"). Zugrundegelegt wird dabei die Differenz der erwarteten Häufigkeit eines bestimmten Superkontextes im Gesamtkollektiv von der effektiven Häufigkeit dieses Superkontextes im bisherigen Kollektiv. Diese Differenz determiniert die Wahrscheinlichkeit des Superkontextes im neu hinzukommenden Versuchsabschnitt(PL):

Ist PSA die Erwartungswahrscheinlichkeit eines Superkontextes, PEFFR die effektiv im bisherigen Kollektiv erreichte Wahrscheinlichkeit, PS die gesuchte Wahrscheinlichkeit des Superkontextes im neuen Versuchsstadium, so ergibt sich :

$$PL = (NES \cdot PSA - NMAX \cdot PEFFR) : (NES - NMAX) \quad (29)$$

$$PS = (NV \cdot IM \cdot PEFFR + NV \cdot PL) : (NV \cdot IM + NV) \quad (30)$$

Es läßt sich leicht zeigen, daß sich PS mit wachsendem IM der Erwartung PSA nähert und im letzten Versuchsstadium gilt :

PS = PSA

Auf die eben beschriebene Art läßt sich also ein Gesamtzeichenkollektiv konstruieren, das durchgängig eine (in abnehmendem Maße) "konzentriertere" bzw. "nivelliertere" Wahrscheinlichkeitssuperstruktur besitzt, als die erwartete.

Die Wahrscheinlichkeit für das Zustandekommen eines solchen Gesamtkollektivs wird in unserem Fall der Wahrscheinlichkeit für das Entstehen des Initialkollektivs gleichgesetzt, ist jedoch in Wirklichkeit noch geringer, da die kontinuierliche Kompensation der Initialabweichung sehr unwahrscheinlich ist. Der letztere Effekt kann aber vernachlässigt werden, denn WG allein nähert sich bereits bei relativ geringen Abweichungen des Initialkollektivs dem Wert 0.

Die Modifikationen der Erwartungsstruktur in Richtung der Konzentrationsextreme stehen in enger Beziehung zum Entropiemaß :

Konzentrationssteigerung bedeutet Senkung der Entropie der Superstruktur, Nivellierung bedeutet Erhöhung der Entropie der Superstruktur.

Weiter kann vermutet werden, daß die initiale Erhöhung der Konzentration insgesamt zu einer Begünstigung des Detektionsvorgangs führt, die initiale Nivellierung zu einer Hemmung. Aus diesem Grunde wird unten die initiale Entropieerhöhung den detektionshemmenden Modellbedingungen eingegliedert, die initiale Entropiereduktion den detektionsfördernden Bedingungen (Gleichung (35)).

Es läßt sich auf diese Weise für jedes in seiner Superstruktur determinierte Kollektiv von Superkontexten ein Paar von abweichenden Strukturierungen finden, die beide gleich wahrscheinlich bzw. unwahrscheinlich sind und die vermutlich den gesamten statistisch möglichen Detektionsbereich eingrenzen. Simuliert man bei einem solchen Paar von abweichenden Strukturen jeweils

über alle Versuchsstadien den Detektionsprozeß (Programmteil "Detektionsphase" und folgende), so erhält man als Modell-Output die Grenzwerte der Detektionsverläufe unter sonst vergleichbaren Bedingungen.

Resultiert beispielsweise, daß das Superzeichen X bei einem Kollektiv mit erhöhter Wahrscheinlichkeitskonzentration im Versuchsstadium IM1 detektiert wird, beim entsprechenden Kollektiv mit Wahrscheinlichkeitsnivellierung im Versuchsstadium IM2, so bedeutet das, daß für das Gesamtkollektiv der gerade vorliegenden Wahrscheinlichkeitsstruktur mit einer Wahrscheinlichkeit von $WO (= 1 - 2 \cdot WCHI \cdot WV)$ das Superzeichen X im Bereich von IM1 bis IM2 erkannt wird.

$$WO = 1 - 2 \cdot WCHI \cdot WV \quad (29)$$

Da $WCHI \cdot WV (= WG)$, wie oben bereits erwähnt, normalerweise sehr klein ist, wird die Wahrscheinlichkeit für die Detektion von X im Bereich IM1 bis IM2 annähernd zu eins. Die Grenzwerte IM1 und IM2 decken, mit anderen Worten, den gesamten detektionsrelevanten Schwankungsspielraum der Wahrscheinlichkeitsstruktur ab.

Nun zur Detektionssimulation selbst.

Nach den Gleichungen (17) und (18) ist die Detektion eines bestimmten Superkontextes dann gewährleistet, wenn alle seine Nachfolgerkontexte den kritischen Wahrscheinlichkeitswert, der in Abhängigkeit von IC errechnet wird (im Programm mit CRIT bezeichnet) erreichen oder unterschreiten

$$CRIT = (1/2)^{IC} \quad (30a)$$

Die Detektionswahrscheinlichkeit ist dann gleich 1.

Für das vorliegende Modell können als Nachfolgerkontexte für ein Superzeichen nur wieder andere Superkontexte stehen, da das Gesamtkollektiv eine Superstruktur gleicher Ordnung besitzt . Alle Superkontexte be-

sitzen die Ordnung 4 (im Programm C) ; somit kann nur ein Viertel aller möglichen Sequenzen der Ordnung 4, nämlich die Superkontexte als Nachfolger eines beliebigen Superkontextes in Frage kommen. Detektions-sicherheit für einen Superkontext ist also bereits gegeben, wenn die Größe PIC in Gleichung (18) den Wert 0,25 erhält.

In diesem Fall haben dann alle Nachfolgerkontexte des gewählten Superzeichens den kritischen Wahrscheinlichkeitswert erreicht. Bei der Detektionssimulation geht es somit zunächst darum, aus dem jeweils vorliegenden Partialkollektiv (das dem Versuchsstadium entspricht) die Wahrscheinlichkeit aller Kontexte auf die "Minimalbedingung" der Detektion hin zu untersuchen (Programmteil "Prüfung der Minimalwahrscheinlichkeit auf Detektionsrelevanz").

$$PKMIN \leq CRIT \quad (30b)$$

Alle Wahrscheinlichkeiten, die den Wert CRIT erreichen oder darunterliegen werden mit der Wahrscheinlichkeit des zu detektierenden Superkontextes multipliziert und aufsummiert, analog Gleichung (17). Erreicht diese Summe (SPDET im Programm) einen Wert, der ein Viertel der Wahrscheinlichkeit des zu detektierenden Superkontextes (PK) erreicht, so tritt die Detektion mit Sicherheit ein :

$$CK = PK \cdot 0,25 \quad (31)$$

Detektionsbedingung :

$$SPDET = CK \quad (32)$$

Eine Detektion kann aber bereits erfolgen, wenn einer der Nachfolger des zu detektierenden Superzeichens, welcher der oben formulierten Minimalbedingung genügt , nur ein einziges Mal auftritt . Würde man die durch Gleichung (32) ausgedrückte Detektionsbedingung ausschließlich gelten lassen, so müßte dies zu den folgenden Konsequenzen führen :

Bei SPDET < CK würde keine Detektion erfolgen; dadurch würde aber impliziert, daß keiner der bereits detektionswirksamen Nachfolger (Minimalbedingung !) im vorliegenden Versuchsstadium auftritt. Diese Folgerung ist natürlich ebenfalls einer statistischen Prüfung zu unterziehen. Letztere ist gleichzusetzen mit der Frage, wie groß die Vertrauenswahrscheinlichkeit dafür ist, daß SPDET einen bestimmten detektionsauslösenden Betrag im vorliegenden Versuchsstadium erreicht, wobei dieses Versuchsstadium als Stichprobe des gesamten Versuchs aufzufassen ist. Da SPDET aufgrund der effektiv auftretenden Wahrscheinlichkeiten PK der Superkontexte (die ja für das vorliegende Versuchsstadium bereits festliegen) errechnet wurde, kann es als Schätzung der Populationswahrscheinlichkeit fungieren.

Das statistische Modell für die stichprobenbedingte Abweichung einer Wahrscheinlichkeit von ihrem Populationswert bei endlicher Population wird durch folgende Gleichung wiedergegeben :

$$P_{st} = P \pm z \cdot \sqrt{\frac{P \cdot Q}{N}} \cdot \sqrt{\frac{N_p - N}{N_p - 1}} \quad (33)$$

wobei N = Stichprobenumfang

N_p = Populationsumfang

P_{st} = Stichprobenwahrscheinlichkeit

P = entsprechende Wahrscheinlichkeit in der Population

Q = 1-P

z = z-Wert der standardisierten Normalverteilung

Aus (33) läßt sich folgende Konfidenzgleichung entwickeln :

$$W (P - z \cdot \sigma_P < P_{st} < P + z \cdot \sigma_P) = WK \quad (34a)$$

wobei:

$$\sigma_P = \sqrt{\frac{P \cdot Q}{N}} \cdot \sqrt{\frac{N_p - N}{N_p - 1}}$$

WK gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der P_{st} zwischen den angegebenen Grenzen auftritt.

Auf unsere Modellgrößen bezogen :

$$W(SPDET - Z \cdot R \cdot Q < PRQ < SPDET + Z \cdot R \cdot Q) = WK$$

$$\text{wobei :} \quad (34b)$$

$$Q = \sqrt{(NES - NMAX) : (NES - 1)} \quad R = \sqrt{SPDET(1 - SPDET) : NMAX}$$

PRQ entspricht als Stichprobenwahrscheinlichkeit SPDET.

Durch die untere Grenze von PRQ wird angegeben, wieviele detektionswirksame Nachfolger mit der Vertrauenswahrscheinlichkeit WK im vorliegenden Versuchsstadium mindestens auftreten, durch die obere Grenze wieviele höchstens.

Das Detektionsmodell setzt voraus, daß beim effektiven Auftreten eines einzigen detektionswirksamen Nachfolgerkontextes die Detektion des vorausgehenden Superzeichens erfolgt. Da die Mindestwahrscheinlichkeit für das effektive Auftreten eines detektionswirksamen Nachfolgerkontextes durch die untere Grenze von PRQ angegeben wird, vollzieht sich also eine Detektion dann, wenn die untere PRQ-Grenze eines Nachfolgerkontextes den Wert $1/NMAX$ ($= PCRIT$ = Wahrscheinlichkeit eines Kontextes im vorliegenden Versuchsstadium) erreicht oder übersteigt.

$$PRQ (\pm) \geq PCRIT \quad (35)$$

Die untere PRQ-Grenze stellt jedoch bereits einen Extremwert in Richtung einer Detektionsverzögerung dar, denn mit einer Wahrscheinlichkeit von nur noch $(1 - WK)/2$ sind noch geringere Häufigkeiten der detektionswirksamen Kombination zu erwarten. Umgekehrt muß in der oberen PRQ-Grenze ($PRQ+$) natürlich der Extremwert im Sinne einer Detektionsbeschleunigung gesehen werden. Zwischen beiden Grenzen findet mit einer Wahrscheinlichkeit von WK die Detektion statt.

Die untere PRQ-Grenze ist also den detektionshemmenden Modellbedingungen einzugliedern, die obere den detektionsfördernden, so daß die Konfidenzwahrscheinlichkeit WO in Gleichung (29) durch WK ergänzt werden muß.

$$W = (1 - 2 \text{ WCHI} \cdot \text{WV}) \cdot \text{WK} \quad (36)$$

Durch Gleichung (36) wird impliziert, daß die durch Initialmodifikation des Gesamtkollektivs verursachte Änderung des Detektionsverlaufs und die durch PRQ-Variation erzeugten Änderungen des Detektionsverlaufs einem insgesamt detektionsbeschleunigenden bzw. detektionsverzögernden Pol zuordenbar sind. Der Detektionsbeschleunigung entspreche die obere PRQ-Grenze in Verbindung mit einer Wahrscheinlichkeitskonzentrierung des Initialkollektivs, der Detektionsverzögerung entspreche die untere PRQ-Grenze zusammen mit einer Wahrscheinlichkeitsnivellierung des Initialkollektivs.

Da die Bedingungsvariationen, welche diesen Grenzen des Detektionsverlaufs zugeordnet sind, als voneinander unabhängig konstruiert sind, errechnet sich die kombinierte Konfidenzwahrscheinlichkeit als Produkt der Einzelkonfidenzen.

Diese Kombination der Konfidenzbereiche wird aus rechenökonomischen Gründen durchgeführt; es wird damit zunächst auf eine differenzierte Abgrenzung einer Detektionswirksamkeit der Einzelbedingungen verzichtet.

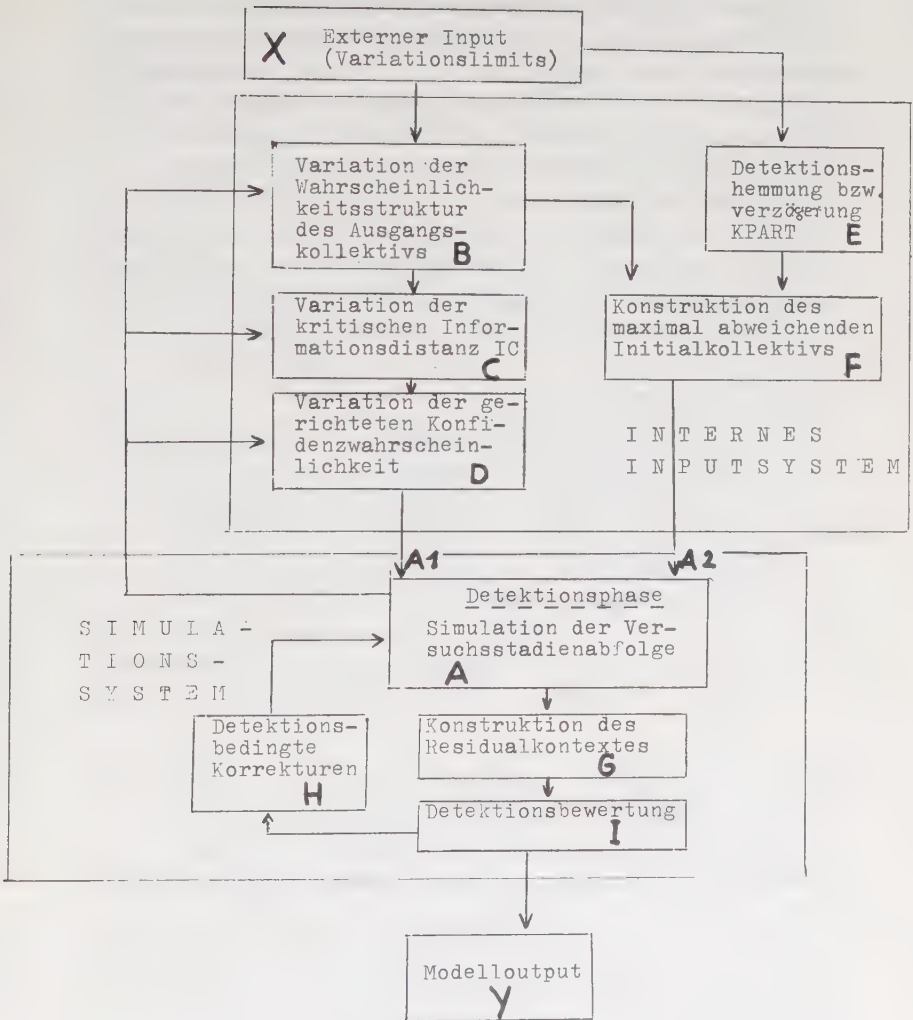
Ist das erste Superzeichen detektiert, so verändert sich die für die eventuelle Detektion weiterer Superzeichen relevante Wahrscheinlichkeitsstruktur in den folgenden Versuchsstadien. Dies geschieht in den Programmteilen "Detektionsbedingte Korrektur der Minimalwahrscheinlichkeit" und "Detektionsbedingte Korrektur der Maximalwahrscheinlichkeit" gemäß den Gleichungen (21), (22), (23) und (25).

Vor der Erläuterung des letzten Programnteils "Modell-Output" ist noch einiges über die Organisation des Programms bzw. des Detektions-Konfidenz-Modells zu sagen. (Vgl. dazu Flußdiagramm - Abb. 4)

Das Kernstück des Modells wird repräsentiert durch die Simulation der Detektionsphase (A) . Dieser Systemteil wird gesteuert durch das Inputsystem (A,B,C,D) über die internen Kanäle A1 und A2 . Die Subsysteme B,C und D sind ineinander verschachtelt , dergestalt, daß bei Konstanzhaltung einer bestimmten Wahrscheinlichkeitsstruktur des Gesamtkollektivs (B) und einer bestimmten kritischen Informationsdistanz (C) alle Konfidenzgrößen zwischen 0 und 1 (in variierbarer Genauigkeit) auf ihren Detektionseinfluß hin untersucht werden können(D). Hat D einen Durchlauf beendet, so verändert sich als nächstes C usw. Der Variation der Superstruktur (B) parallel geschaltet ist die Konstruktion des abweichenden Initialkollektivs (F). Die Richtung dieser Abweichung wird gesteuert durch die Größe KPART im Subsystem E. Insgesamt produziert also das interne Inputsystem des Modells ein nach durchschnittlicher Wahrscheinlichkeitsstruktur und Beschaffenheit des Initialkollektivs spezifisches Gesamtkollektiv. Es liefert gleichzeitig die für den Detektionsverlauf wesentlichen Parameter der kritischen Informationsdistanz und der Konfidenzwahrscheinlichkeit (IC und WK). Die Grenzen der Variation werden dabei bestimmt durch den externen Input (X), der seinerseits direkt auf das interne Inputsystem einwirkt.

Für jedes durch das Inputsystem gelieferte Ausgangskollektiv führt das Simulationssystem eine den Inputparametern entsprechende Detektion durch. Diese Detektion erstreckt sich über alle Versuchsstadien und Superkontexte, wobei die Wahrscheinlichkeitsstruktur der einzelnen Versuchsabschnitte in Abhängigkeit von der bisherigen Beschaffenheit des Kollektivs und von eventuellen

Abb. 4 Detektions-Konfidenz-Modell
 Programm "PROGNOSE"
 Organisationsübersicht



Detektionen modifiziert und korrigiert wird (Teile G und H). Im Detektionsbewertungssystem I wird nach jedem Simulationsdurchlauf das Detektionsresultat in einer sechsdimensionalen Matrix gespeichert, die im Programm aus speichertechnischen Gründen nur sukzessiv als Folge von zweidimensionalen Matrizen erscheint. Die Matrix enthält für jeden Superkontext (1. Dimension) das Detektionsstadium IM (2. Dimension) als Funktion der Konfidenzwahrscheinlichkeit (3. Dimension), der Informationsdistanz (4. Dimension), der durchschnittlichen Wahrscheinlichkeitsstruktur des Gesamtkollektivs (5. Dimension) und der durch KPART determinierten "Geschwindigkeit" des Detektionsprozesses (=Detektionsbeschleunigung bzw. -hemmung; 6. Dimension).

Die Detektionsbewertungsmatrizen werden nach der oben erwähnten Umformung in zweidimensionale Submatrizen in das Modell-Output-System Y überführt. Auf diese Weise erhält man als Output des gesamten Detektions-Konfidenz-Modells charakteristische Detektionskennlinien für das im bisherigen Verlauf der Modellkonstruktion als relevant erachtete Bedingungsgefüge bzw. für beliebige Untermengen von Bedingungen (= Untermengen von Dimensionen der Detektionsbewertungsmatrix).

Der wissenschaftliche Nutzen des Modells liegt für diese Arbeit zunächst in seiner Eigenschaft als Konfidenz-schätzungs- und Prognose-System im Hinblick auf die empirische Validierung der Detektionshypothesen. Da es jedoch über ein spezifisches experimentelles Konzept hinausgeht kann es zur theoretischen Generalisierung der Versuchssituation und damit beispielsweise zur theoretischen Analyse des Detektionskalküls in simulierten Extremsituationen beitragen. Im Gegensatz zu dem konkreten und versuchsbezogenen Simulationsmodell (Kap. VI), das auf einem differenzierteren System-niveau agiert (effektive Codierung einer konkret gegebenen Information und Output der Reaktions-

wahrscheinlichkeiten) bezieht das Detektions-Konfidenz-Modell sich nur auf die Detektionszeitpunkte und erhält als Information über das Zeichenkollektiv nur die Wahrscheinlichkeiten der Superkontexte. Es kann daher in ökonomischer Weise zu einer restlosen Determination des Detektionsgeschehens innerhalb der als relevant erachteten Dimensionen herangezogen werden, was bei den konkreten Simulationsmodellen (MOD A-F) schon aus Gründen der Rechenzeit prinzipiell unmöglich wäre.

Die restlose (=totalvariierte) Determination des Detektionsgeschehens wird in dieser Arbeit eingeschränkt auf die Totalvariation einer Untergruppe von detektionsrelevanten Parametern :

Die Wahrscheinlichkeitsstruktur des Ausgangskollektivs wird zunächst auf jener des experimentellen Schemas (Teil 4) konstant gehalten. Darüber hinaus interessieren verschiedene Extremvarianten dieses Schemas (z.B. Variation der Wahrscheinlichkeit eines Superkontextes bei Konstanthalten der Wahrscheinlichkeitsproportionen aller übrigen u.ä.). Näheres darüber in Teil 3.

Es muß noch einmal darauf hingewiesen werden, daß die Ergebnisse des Modells PROGNOSE Approximationen der vermuteten Vorgänge sind, da bei seiner Konstruktion theoretische Informationsberechnungen anstelle der Effektivcodierung verwendet wurden. Es kann allerdings angenommen werden, daß sich die allgemeinen Prognosen gegenüber der Alternative theoretische-effektive Information weitgehend invariant verhalten. Dies betrifft vor allem die charakteristischen Detektionskennlinien in Abhängigkeit von den oben genannten Variablen und die unter III formulierten allgemeinen Detektionsbedingungen.

V. Die Ergänzung des Detektionsmodells durch ein System von Annahmen über die Reproduktionsmechanismen

Während die bisher entwickelten Modellvorstellungen über den Prozeß der Detektion lediglich den Zeitpunkt (= Versuchsstadium) der Detektion betrafen, soll in diesem Kapitel die ~~Art der~~ Reaktion, welche von den Versuchspersonen zu erwarten ist, etwas ausführlicher betrachtet werden. Die Versuchspersonen werden im später zu schildernden Experiment (Teil 4) veranlaßt, Reihen von akustisch dargebotenen Zeichen unter Beachtung von etwaigen Sequenzen und deren Häufigkeiten zu reproduzieren.

Die Reproduktionen der Versuchspersonen sind durch das FRANKSche Vergegenwärtigungskonzept (auf das schon mehrfach hingewiesen wurde) in ihrer Häufigkeitsstruktur schätzbar. In den folgenden Deduktionen für das Reproduktionssystem wird immer dann auf dieses Konzept Bezug genommen, wenn eine Repräsentation der dargebotenen Reizstruktur im Kurzspeicher der Versuchspersonen als Grundlage der Reaktionen angenommen werden kann.

Die Kurzspeicherkapazität dürfte zwar bei dem später applizierten Versuch (Teil 4) beträchtlich unter dem Informationsgehalt eines Versuchsabschnitts liegen. Dieser Einfluß wird jedoch bei Durchschnittsbildung über mehrere Versuchspersonen eliminiert, so daß zunächst bezüglich der Reproduktionshypothesen von der Gesamtheit des Zeichenkollektivs ausgegangen werden kann. (Über einen eventuellen Einfluß der Kurzspeicherkapazität auf die Detektion siehe Beschreibung der Modelle MOD A-F !)

Die durch die Vergegenwärtigungsannahme implizierte systematische Verzerrung der Reproduktionsstruktur als Funktion der Reizstruktur ist in der folgenden Formalisierung durch die Operatoren $\hat{R}$ (vektorbezogener Operator)

und Q^+ (matrixbezogener Operator) symbolisiert.

Es wird, den Voraussetzungen des Detektionsmodells entsprechend, angenommen, daß die Sequenzen von Elementarzeichen aller Ordnungen bis zu einer (unbekannten) Maximalordnung durch das selbstorganisierende Empfängersystem optimalcodiert (d.h. mit minimaler Redundanz codiert) als Binäreinheiten weiterverarbeitet werden. Jeder Sequenzordnung entspricht eine Reihe von subjektiven Einheiten und damit eine bestimmte (potentielle) Reproduktionsstruktur. Da das Detektionsmodell eine simultane Präsenz von Sequenzen verschiedener Ordnungsniveaus im Kurzspeicher postuliert, ist die Reproduktionsstruktur aus allen sequenzspezifischen Vergewenwärtigungen zu schätzen. Die einfachste Annahme für eine solche Schätzung wäre die der arithmetischen Mittelung: Dies entspräche inhaltlich der Vorstellung, daß die Reproduktion der Zeichen proportional zu den Informationsräumen aller vergewenwärtigten Sequenzen erfolge und läßt sich so auch von dieser Seite her plausibilisieren. (Der Versuchsplan des experimentellen Teils ist überdies so abgefaßt, daß ein durch diese Annahme eingehender Fehler bei der Auswertung nahezu eliminiert werden kann).

Wollen wir die Formalisierung zunächst bis zu diesem Punkt durchführen.

Gegeben sei eine Reihe von Elementen mit Superstruktur. Die Reihe bestehe aus den Elementen $E_1, E_2, \dots, E_i \dots E_u$ und aus den Superkontexten $S_I, S_{II} \dots S_j \dots S_v$. Elemente und Superkontexte gehen vollständig ineinander auf. Elementverdopplungen innerhalb der Superkontexte seien nicht gestattet. (Es handelt sich dabei um keine prinzipiellen Beschränkungen des Modells, sondern nur um dessen Anpassung an den beabsichtigten Versuchsplan).

Der Aufbau der Superzeichen S_j aus den Elementen E_i wird durch die Element-Superzeichen-Matrix beschrieben :

$$ES_0 = \begin{array}{c|ccc} & E_1 & E_2 & E_3 & \cdot & \cdot & \cdot \\ \hline S_I & 1 & 1 & 0 & & & \\ S_{II} & 0 & 1 & \dots\dots\dots & \text{usw.} & & \\ S_{III} & 1 & 0 & \dots & & & \end{array} \quad (37)$$

Die Superzeichen S_j treten mit den Häufigkeiten $H_I, H_{II}, \dots, H_j, \dots, H_V$ auf. Für diese Häufigkeiten stehe der Vektor H_V .

Prämultipliziert man ES_0 mit der Matrix $1_V \cdot H_V'$, wobei 1_V einen Einheitsvektor der Länge v und H_V' die Transponierte des Vektors H_V bezeichnet, so erhält man eine Matrix der Ausgangshäufigkeiten der Element-Superzeichenstruktur :

$$ES_1 = \begin{array}{c|ccc} & E_1 & E_2 & E_3 & \cdot & \cdot & \cdot \\ \hline S_I & H_I & H_I & 0 & \dots\dots & & \\ S_{II} & 0 & H_{II} & & \dots\dots & & \\ S_{III} & H_{III} & 0 & & \dots\dots & & \end{array} \quad (38)$$

$$\text{Es gilt :} \quad ES_1 = 1_V \cdot H_V' \cdot ES_0 \quad (39)$$

Die Elemente $E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_u$ treten mit den Häufigkeiten $h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_u$ auf. Für diese Häufigkeiten stehe der Vektor h_u . Er ergibt sich als der Vektor der Spaltensummen von ES_1' und errechnet sich demzufolge als

$$h_u' = 1_V' \cdot ES_1 \quad \text{bzw.} \quad h_u = ES_1' \cdot 1_V \quad (40)$$

Das Modell macht die Annahme , daß die Reproduktionshäufigkeiten der Elemente in Zusammenhang stehen mit ihrem Informationsbeitrag $I \cdot p$ im Gesamtsystem :
Die Reproduktionshäufigkeit eines Zeichens sei proportional zu seinem Entropiebeitrag, zu seinem "Informationsraum".

Bei der Deduktion des Reproduktionssystems kann von Anfang an auf den in den Modellvoraussetzungen geforderten effektiven (=durch effektive Codierung erhaltenen) Informationsbetrag Bezug genommen werden (I_{eff}), da keine exponential-algebraischen Umformungen vorgehen sind.

Kommt ein Zeichen Z_i in einem System von k Zeichen mit der Häufigkeit h_i vor, so beträgt sein ganzzahliger (=effektiver) Informationsgehalt $[ld] h_i / k$. Die Gesamtinformationsmenge des Zeichensystems errechnet sich als Effektiventropie (= durchschnittlicher effektiver Informationsgehalt) multipliziert mit der Anzahl der Zeichen k :

$$\text{Gesamtinformationsmenge} = k \cdot \sum h_i/k \cdot [ld](h_i/k) \quad (41)$$

Da Z_i h_i -mal vorkommt, ist sein Informationsraum :

$$I_i = h_i [ld](h_i/k) \quad (42)$$

Der relative Informationsraum von I_i ergibt sich als :

$$I_i' = (h_i \cdot [ld](h_i/k)) : (k \cdot \sum h_i/k \cdot [ld](h_i/k)) \quad (43)$$

Multipliziert man die Gesamtanzahl der zu reproduzierenden Zeichen mit diesem Ausdruck, so ergibt sich die Modellantizipation für die Reproduktionshäufigkeit des Zeichens Z_i .

Für den hier postulierten Verarbeitungs.bzw. Verzerrungsmechanismus wollen wir summarisch einen Operator Q formulieren, der die eben vorgetragene Gruppe mathema-

tischer Operationen symbolisiert und der auf Vektoren anwendbar ist .

Gegeben sei ein beliebiger Vektor V_k

$$V_k = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ \dots \\ V_k \end{bmatrix} \quad (44)$$

Q beinhaltet nun folgende Operationen :

1. Multipliziere V_k mit dem Einheitsvektor $1_k'$:

$$V_k \cdot 1_k'$$

Dieses Produkt stellt eine Matrix der Ordnung $k \cdot k$ dar.

2. Bilde von dieser Matrix die Diagonalmatrix :

$$D_{V_k \cdot 1_k'}$$

3. Bilde die Summe von V_k :

$$1_k' \cdot V_k$$

4. Dividiere V_k und $D_{V_k \cdot 1_k'}$ durch diese Summe :

$$a) 1/(1_k' \cdot V_k) \cdot V_k$$

$$b) 1/(1_k' \cdot V_k) \cdot D_{V_k \cdot 1_k'}$$

5. Erstelle die Effektivinformationsbeträge für alle Eingänge von b)

$$[Id]((1/1_k' \cdot V_k) - D_{V_k \cdot 1_k'})$$

6. Postmultipliziere 5 mit 4a

7. Dividiere dieses Produkt (einen Spaltenvektor) durch die Summe des Produkts

$$Q(V_k) = \frac{([Id] (1/(1_k' \cdot V_k) \cdot D_{V_k \cdot 1_k'}) \cdot V_k) / (1_k' \cdot V_k)}{1_k' ([Id] (1/(1_k' \cdot V_k) \cdot D_{V_k \cdot 1_k'}) \cdot V_k) / (1_k' \cdot V_k)}$$

$$(45)$$

Ist V_k der Vektor aller Häufigkeiten eines zur Reproduktion dargebotenen Zeichenkollektivs, so bewerkstelligt $Q(V_k)$ die Transformation dieses Vektors in einen Vektor der relativen Informationsräume der Zeichen, gemäß dem die Reproduktion erfolgt.

Im Folgenden soll nun die durch Q (in Bezug auf Vektoren) beschriebene Gruppe von Operationen auf alle Sequenzordnungen des Zeichenkollektivs bis zur Maximalordnung (aus Vereinfachungsgründen bei dieser Deduktion gleich 4) angewandt werden. Zunächst wird dabei angenommen, daß noch keine Detektion erfolgt sei.

Dieses Stadium ist dadurch charakterisiert, daß sich die Reaktion der Versuchspersonen prinzipiell nach allen vorkommenden Sequenzen (bis zur Maximalordnung 4) richten kann. Wie eingangs erwähnt dürfte die durchschnittlich zu erwartende Reproduktion das Mittel aus den fiktiven Reproduktionsstrukturen der beteiligten Sequenzordnungen (1-4) sein. Die ordnungsspezifischen Reproduktionsstrukturen sollten also aufsummierbar sein und müssen deshalb auf die gleiche Bezugsebene (Elementstruktur) transformiert werden. Die Rücktransformation der ordnungsspezifischen Reproduktionen auf ihre Elementstruktur schließt sich deshalb , wenn erforderlich, an die Operatorapplikation an.

1. Partialreproduktion 1.Ordnung

Hierunter ist die fiktive Teilreproduktion der Zeichenreihen unter ausschließlicher Berücksichtigung der Elementstruktur (= Sequenzen 1. Ordnung.) zu verstehen. Die Teilreproduktion setzt eine Teilvergegenwärtigung der binärcodierten Elemente der Zeichenreihen voraus. Mathematisch kann diese durch eine Wirkung von Q auf den Vektor der Elementhäufigkeiten h_u symbolisiert werden. Dieser Satz von Operationen führt zunächst zum Vektor der entsprechenden relativen Informationsräume oder Wahrscheinlichkeiten der Elemente in den Repro-

duktionsreihen. Multipliziert man diesen Wahrscheinlichkeitsvektor anschließend noch mit der Anzahl der reproduzierten Elemente n_R , so erhält man den Vektor der Reproduktionshäufigkeiten der einzelnen Elemente h_{uR} :

$$Q(h_u)' \cdot n_R = h_{uR}$$

oder, durch Einsetzen von (40) für h_u :

$$Q(ES_1' \cdot 1_v)' \cdot n_R = h_{uR} \quad (46)$$

Eine Rücktransformation dieses Resultates auf die Elementstruktur ist nicht erforderlich.

2. Partialreproduktion 2. Ordnung

In diesem Abschnitt wird die fiktive Teilreproduktion auf der Grundlage der Dyadenstruktur des Zeichenkollektivs betrachtet.

Die Dyadenstruktur des Zeichenkollektivs wird durch die Element-Element-Matrix 2. Ordnung (EE_2) wiedergegeben. In dieser Kontextmatrix wird in jeder Matrixzelle angegeben mit welcher Häufigkeit h_{ij} das Element j auf das Element i folgt.

$$EE_2 = \begin{array}{c|cccccc} & E_1 & E_2 & E_3 & E_4 & \cdot & \cdot \\ \hline E_1 & 0 & h_{12} & h_{13} & h_{14} & \cdot & \cdot \\ E_2 & h_{21} & 0 & h_{23} & h_{24} & \cdot & \cdot \\ E_3 & h_{31} & h_{32} & 0 & h_{34} & \cdot & \cdot \\ & \text{usw.} & & & & & \end{array} \quad (47)$$

Als Beschränkungen für diese und die folgenden Kontextmatrizen gelte : Ein bestimmtes Element E_a kann nie Nachfolger des Elementes E_a sein .(Die Elementverdopplung könnte einen Einfluß auf die Detektion haben und unterbleibt deshalb im Experiment. Diese

Besonderheit wurde aus Gründen der Anschaulichkeit in die formale Deskription übernommen, entspricht aber keiner formal notwendigen Einschränkung!)

Die Häufigkeiten der Elementaufeinanderfolge sind identisch mit den jeweiligen Dyadenhäufigkeiten. Nimmt man an, daß bei der Dyadencodierung im Durchschnitt proportional zum Effektivinformationsbeitrag der Dyaden reproduziert wird, so entspräche dem mathematisch die Anwendung des Operators Q auf EE_2 . Da aber Q nur für Vektoren definiert ist, ersetzen wir Q durch das für Matrizen äquivalente Q^+ .

$$Q^+(M) = (1'M \cdot 1)^{-1} \cdot M \cdot ([1d] ((1'M \cdot 1)^{-1} \cdot M))' \cdot \\ \cdot (1' ((1'M \cdot 1)^{-1} \cdot M \cdot ([1d] ((1'M \cdot 1)^{-1} \cdot M)))' \cdot 1)^{-1} \quad (48)$$

M sei eine beliebige Matrix.

$Q^+(EE_2)$ repräsentiert dann die Matrix der Reaktionswahrscheinlichkeiten bezüglich der Dyaden.

Wir wollen sie als EE_{2R} bezeichnen. Sie enthält die Informationsräume in Relation zum Gesamtinformationsraum aller Dyaden und hat demgemäß die Totalsumme 1.

$$Q^+(EE_2) = EE_{2R} \quad (49)$$

In der Zelle ij von EE_{2R} ist also die Wahrscheinlichkeit dafür angegeben, daß die Dyade ij in der entsprechenden Reproduktionsphase auftaucht. Dieser Wahrscheinlichkeit entspricht aber auch gleichzeitig die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten des Elementes i bzw. j . Die Wahrscheinlichkeit für das Element i oder j allein muß aber nur halb so groß als die Zellenwahrscheinlichkeit von EE_{2R} angesetzt werden, da ja doppelt so viele Elemente wie Dyaden auftreten. Halbieren wir demnach die Zelleneingänge von EE_{2R} , so befinden sich nun in allen Zellen die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten eines

bestimmten Elementes der zugehörigen Dyade im Kollektiv der Elemente. Auch in dieser reduzierten Matrix treten die Elemente 1 - u noch an verschiedenen Stellen auf. Um die Reproduktionswahrscheinlichkeit eines bestimmten Elementes i zu erhalten, müßten alle reduzierten Wahrscheinlichkeiten derjenigen Dyaden addiert werden, in denen E_i vorkommt. Die diesbezügliche Operation sei für alle Elemente durch den "Selektor" S_2 abgekürzt. Im Falle der Dyadenmatrix besteht die Operation S lediglich darin, die Spaltensummen und die Zeilensummen der reduzierten Matrix $(1/2) \cdot (EE_{2R})$ entsprechend den zusammengehörigen Elementindices zu addieren. Durch diese Operation erhalten wir den Elementvektor p_{u2R} , der, wenn er mit der Anzahl aller reproduzierten Elemente n_R multipliziert wird, die Reproduktionshäufigkeiten im Stadium der Dyadencodierung repräsentiert.

$$h_{u2R} = S_2 (EE_{2R}) \cdot (1/2) \cdot n_R$$

$$h_{u2R} = 1/2 (1', EE_{2R} + (EE_{2R} \cdot 1)') \cdot n_R \quad (50)$$

3. Partialreproduktion 3. Ordnung

Die Kontextmatrix EE_3 enthält alle Triaden des Kollektivs. Es handelt sich um eine Supermatrix, die sich als Supervektor, dessen Elemente aus Matrizen bestehen, darstellen läßt. Bei der Besetzung dieser Matrix ist ebenfalls auf Vermeidung von Doppelbesetzungen geachtet.

$$EE_3 = \begin{array}{c|cccc} & E_1 & E_2 & E_3 & \cdot & \cdot & \cdot \\ \hline E_{11} & 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot \\ E_{12} & 0 & 0 & h_{123} & \cdot & \cdot & \cdot \\ E_{13} & 0 & h_{132} & 0 & \cdot & \cdot & \cdot \\ \vdots & - & - & - & - & - & - \\ E_{21} & 0 & 0 & h_{213} & \cdot & \cdot & \cdot \\ E_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \vdots & - & - & - & - & - & - \\ E_{31} & \cdot & \cdot & h_{3jk} & \cdot & \cdot & \cdot \quad \text{usw.} \\ \vdots & & & & & & \end{array}$$

Darstellung der Matrix als Supervektor :

$$\begin{bmatrix} E_{1jk} \\ \vdots \\ E_{2jk} \\ \vdots \\ E_{3jk} \end{bmatrix} \quad (51) \quad = E_{ijk}$$

E_{ijk} ist identisch mit EE_3 .

Die Partialreproduktion 3. Ordnung wird durch die Anwendung von Q^+ auf EE_3 simuliert.

$$Q^+(EE_3) = EE_{3R} \quad (52)$$

Auch diese Matrix wird reduziert auf eine Matrix elementbezogener Wahrscheinlichkeiten, diesmal durch Multiplikation mit $1/3$ (Triaden!).

Auf $EE_{3R} \cdot 1/3$ wirkt nun wieder ein Selektor ein (S_3), so daß p_{u3R} resultiert:

$$p_{u3R} = S_3 (EE_{3R} \cdot 1/3) \quad (53)$$

S_3 läßt sich folgendermaßen formulieren:

1. Zunächst sollen alle Elementwahrscheinlichkeiten selektiert werden, die das jeweils dritte Element einer Dreiersequenz betreffen. Dazu ist einfach der Spaltensummenvektor der Matrix $1/3 \cdot EE_{3R}$ zu berechnen:

$$1_u' \cdot EE_{3R} \cdot 1/3 = III p_{u3R} \quad (54)$$

2. Um alle Wahrscheinlichkeiten zu selektieren, die das jeweils erste Element einer Dreiersequenz betreffen, ist vom Supervektor $E_{ijk} \cdot 1/3$ für jede Submatrix die Gesamtsumme zu errechnen. Der Vektor dieser Summen ist $I p_{u3R}$. Er wird direkt erhalten, wenn man zunächst $EE_{3R} \cdot 1/3$ durch Postmultiplikation mit einem Einheitsvektor in einen Spaltenvektor aller Zeilensummen verwandelt. Es handelt sich dabei um einen Supervektor, dessen Elemente selbst Vektoren sind. Die Trennlinien der Supervektoren werden wie bei E_{ijk} durch die Erhöhung von i um jeweils 1 gesetzt. Prämultipliziert man diesen Supervektor mit einer entsprechenden Superdiagonalmatrix, deren Superordnung in der Horizontalen der Superordnung des Supervektors entspricht und deren Diagonalelemente Einheitszeilenvektoren sind, so er-

hält man einen Spaltenvektor der Ordnung u , der nur noch die Summen der Subvektoren des ursprünglichen Supervektors enthält. Es handelt sich um I^{Pu3R} .

$$I^{Pu3R} = u^D [u, u, \dots]_u \cdot EE_{3R} \cdot 1/3 \cdot [u, u, \dots]_u^1 \quad (55)$$

wobei :

$$u^D [u, u, \dots]_u = \begin{matrix} 1_u' & 0_u' & 0_u' & \dots \\ 0_u' & 1_u' & 0_u' & \dots \\ 0_u' & 0_u' & 1_u' & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{matrix}$$

3. Zur Selektion aller Wahrscheinlichkeiten, die das jeweils zweite Element der Dreiersequenzen betreffen, werden alle Submatrizen des Supervektors Ei_{jk} transponiert. Dadurch entsteht eine neue Supermatrix, deren Spalten alle Teilwahrscheinlichkeiten der jeweils zweiten Elemente enthalten. Um die gesuchten Wahrscheinlichkeiten II^{Pu3R} zu erhalten, wird die neue Supermatrix $E'i_{jk}$ mit einem entsprechenden Einheitsvektor prämultipliziert :

$$1/3 \cdot 1' \cdot E'i_{jk} = II^{Pu3R} \quad (56)$$

Weiter gilt :

$$P_{u3R} = I^{Pu3R} + II^{Pu3R} + III^{Pu3R} \quad (57)$$

Multipliziert man die rechte Seite dieser Gleichung mit der Anzahl der reproduzierten Elemente n_R , so erhält man auf der linken Seite h_{u3R} .

$$h_{u3R} = n_R \cdot (I^{Pu3R} + II^{Pu3R} + III^{Pu3R}) \quad (58)$$

Aus (54), (55), (56) und (58) folgt :

$$h_{u3R} = (u^D [u, u, \dots]_u \cdot EE_{3R} \cdot [u, u, \dots]_u^1 + 1' \cdot E'i_{jk} + 1' EE_{3R}) \cdot 1/3 \cdot n_R \quad (59)$$

Auf $EE_{4R} \cdot 1/4$ wirkt ein Selektor S_4 ein, so daß p_{u4R} resultiert.

Der Selektor S_4 zur Erstellung des Elementvektors zerfällt in vier Teiloperationen :

1. Selektion des jeweils vierten Elements :

$$IV^{Pu4R} = 1' \cdot EE_{4R} \cdot 1/4 \quad (62)$$

2. Selektion des jeweils dritten Elements :

Die Supermatrix $EE_{4R} \cdot 1/4$ wird ersetzt durch ihren Supervektor $Eij_{kl} R \cdot 1/4$. In diesem Supervektor werden alle Submatrizen transponiert, so daß $Eij'_{kl} R \cdot 1/4$ entsteht.

Dann gilt :

$$III^{Pu4R} = 1' \cdot Eij'_{kl} R \cdot 1/4 \quad (63)$$

3. Selektion des jeweils zweiten Elements :

Die Supermatrix $EE_{4R} \cdot 1/4$ wird ersetzt durch den Supervektor $Ei_{jkl} R \cdot 1/4$. Dessen Submatrizen werden transponiert, so daß entsteht $Ei'_{jkl} R \cdot 1/4$. Dann gilt :

$$II^{Pu4R} = 1' \cdot Ei'_{jkl} R \cdot 1/4 \cdot [u^2, u^2, \dots]_u^{Du} \quad (64)$$

wobei :

$$[u^2, u^2, \dots]_u^{Du} = \begin{matrix} 1 & 0 & 0 & \dots \\ u^2 & u^2 & u^2 & \dots \\ 0 & 1 & 0 & \dots \\ u^2 & u^2 & u^2 & \dots \\ 0 & 0 & 1 & \dots \\ u^2 & u^2 & u^2 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{matrix}$$

(Diagonalsupermatrix, deren Elemente Spalteneinheitsvektoren sind)

4. Selektion des jeweils ersten Elements :

Die Supermatrix $EE_{4R} \cdot 1/4$ wird ersetzt durch den Supervektor $Ei_{jkl} R \cdot 1/4$. Es gilt :

$$I^{p_{u4R}} = u^D [u^2, u^2, \dots]_{u^2} \cdot E_{ijkl} R \cdot 1/4 \cdot 1_u \quad (65)$$

wobei $u^D [u^2, u^2, \dots]_{u^2}$ eine Superdiagonalmatrix repräsentiert, deren Diagonalelemente Reiheneinheitsvektoren sind.

h_{u4R} ergibt sich als :

$$h_{u4R} = n_R (I^{p_{u4R}} + II^{p_{u4R}} + III^{p_{u4R}} + IV^{p_{u4R}}) \quad (66)$$

$$h_{u4R} = (u^D [u^2, u^2, \dots]_{u^2} \cdot E_{ijkl} R \cdot 1_u + 1' \cdot E_{ijkl} R \cdot [u^2, u^2, \dots]_u \cdot D_u + 1' \cdot E_{ijkl} R + 1' \cdot EE_{4R}) \cdot 1/4 \cdot n_R \quad (67)$$

5. Gesamtreproduktion im Vordetekektionsstadium

Aus den vier Partialreproduktionsvektoren h_{u1R} bis h_{u4R} kann nun durch Mittelung die Reaktionsschätzung für das Vordetekektionsstadium erfolgen.

Bildet man aus den Partialreproduktionsvektoren die Matrix u^{PR_k} , wobei h_{u1R} bis h_{u4R} , allgemein bis h_{ukR} die Spaltenvektoren dieser Matrix darstellen, so ergibt sich die durchschnittliche Reproduktionsstruktur für das Vordetekektionsstadium als :

$$h_{u \text{ VD}} = (1/k) (u^{PR_k} \cdot 1_u) \quad (68)$$

6. Das Stadium der Detektion

Der Einfachheit wegen wird in diesem Abschnitt nur die Detektion der Superkontexte vierter Ordnung angenommen.

Während bei der bisherigen ordnungsspezifischen Codierung eine hohe Flexibilität des Apperzeptionssystems

vorausgesetzt wurde (die letzten $n-1$ Elemente eines Kontextes n -ter Ordnung wurden sukzessive als die ersten $n-1$ Elemente des nächsten Kontextes verwendet), sollte für ein Superzeichen eine gewisse "Gestaltfestigkeit" postuliert werden, die einerseits seine eineindeutige Austauschbarkeit mit der Elementstruktur gewährleistet, andererseits eine leichte Abgrenzbarkeit gegen andere Superzeichen. Diese aus der Gestaltpsychologie bekannten Annahmen repräsentieren sich im vorliegenden Modell als die Vorstellung einer Isolierung bereits erkannter Superzeichen gegen weitere Kontextmanipulationen.

Das Superzeichen und mit ihm alle Elemente seiner Substruktur wird zu einem einzigen neuen Element des Kollektivs und bleibt, wenn nicht bewußte Analyse eintritt, intern stabil !

Formal ergibt sich aus dieser Annahme, daß alle Elemente, die ein Superzeichen konstituieren, bei Detektion desselben für weitere Kontextverschiebungen unzugänglich werden.

Erfolgt beispielsweise die Detektion des Superzeichens $E_1-E_j-E_k-E_l$, so würden die Kontextmatrizen erster bis k -ter (in unserem Fall vierter) Ordnung in der Umgebung dieses Superkontextes Null-Zellen erhalten.

Liegt der Kontext $ijkl$ in der Umgebung $ijklmnop$, so wären folgende Kontextmanipulationen nicht mehr möglich:

In EE_1	$i;j;k;l;$
In EE_2	$hi;ij;jk;kl;lm;$
In EE_3	$ghi;hij;ijk;jkl;klm;lmn;$
In EE_4	$fghi;ghij;hijk;jklm;klmn;lmno;$
	usw.

Aus den Matrizen EE_1 bis EE_k werden nach der Detektion des Superzeichens S_I die Residualmatrizen ${}_I EE_1$ bis ${}_I EE_k$, nach der Detektion der Superzeichen S_I und

S_{II} die Residualmatrizen I/II^{EE_1} bis I/II^{EE_k} usw. Für jedes Detektionsstadium (I; I/II; I/II/III usw.) existiert demzufolge ein spezifischer Satz von Kontextmatrizen.

Durch Behandlung dieser Matrizengruppen mit den Operatoren Q (bzw. Q^+) und S ($1-k$) werden die den Detektionsstadien entsprechenden Partialreproduktionsvektoren und die entsprechenden Matrizen I^{PR} , I/II^{PR} usw. erhalten. Diese wiederum liefern die Reaktions-schätzungen $h_u I$, $h_u I/II$, $h_u I/II/III$ usw. für die einzelnen Detektionsstadien.

7. Das Stadium nach der Detektion

Es wird angenommen, daß im Detektionsstadium die Superstruktur des Zeichenkollektivs vollständig erfaßt wird (eine Annahme, die nur zur Vereinfachung der Darstellung beitragen soll !) . Die Superzeichen repräsentieren die neuen (subjektiven) Einheiten des Zeichenkollektivs. Formal läßt sich das folgendermaßen darstellen :

Der Operator Q modifiziert den Vektor H_V :

$$Q(H_V) \cdot N_R = H_{VR} \quad (69)$$

wobei N_R die Anzahl der reproduzierten Superzeichen bezeichnet, H_{VR} den entsprechenden Vektor der Häufigkeiten.

Der Reproduktion einer bestimmten Superzeichenstruktur entspricht eindeutig eine bestimmte Elementstruktur, die in ihren Häufigkeiten durch den Vektor h_{uR}^* beschrieben wird.

Die zugehörige Entsprechungsmatrix ist ein Vielfaches der Element-Superzeichen-Matrix ES_0 (Gleichung (37)). Sie geht aus dieser durch folgende Operation hervor :

$$D \cdot \begin{pmatrix} 1 & H_{VR} \end{pmatrix} \cdot ES_0 = ES_R \quad (70)$$

wobei $D_{1_v \cdot H_{VR}}$ die Diagonalmatrix der Matrix $(1_v \cdot H_{VR})'$ symbolisiert.

Der Vektor der Spaltensummen von ES_R ist gleich dem Vektor h_{uR}^* :

$$1_v' \cdot ES_R = (h_{uR}^*)' \quad \text{bzw.} \quad (h_{uR}^*) = ES_R' \cdot 1_v \quad (71)$$

(70) in (71) eingesetzt ergibt :

$$1_v' \cdot D_{1_v \cdot H_{VR}} \cdot ES_0 = (h_{uR}^*)' \quad \text{bzw.} \\ (h_{uR}^*) = ES_0' \cdot D_{1_v \cdot H_{VR}} \cdot 1_v \quad (72)$$

Durch Einsetzen von (69) in (72) folgt :

$$(h_{uR}^*) = ES_0' \cdot D_{1_v \cdot H_{VR}} \cdot Q(H_V)' \cdot N_R \cdot 1_v \quad (73)$$

8. Zusammenfassung der Annahmen über das Reproduktionssystem

Die Gesamtreaktion der Versuchspersonen über alle Versuchsstadien sei durch den Vektor

$$R_u = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_u \end{bmatrix} \quad (74)$$

dargestellt. Die Zellen dieses Vektors R_1 bis R_u kennzeichnen dabei die Gesamtreaktionshäufigkeiten bezüglich der Elemente des Kollektivs. Treffen die von Abschnitt 1 (Vordetektionsstadium) bis 7 (Nachdetektionsstadium) deduzierten Modellantizipationen zu, so müßte dieser Vektor R_u aus einer linearen Transformation der Modellantizipationsvektoren h_{uVD} bis h_{uR}^* hervorgehen. Das würde heißen, daß ausschließlich die oben antizipierten Modellvorstellungen oder ein Teil von ihnen additiv mit noch unbekannten Gewichtungen zusammenwirken, so daß

R_u entsteht.

Bezeichnen wir mit X_1 das Gewicht, mit dem die Modellantizipation $h_{u \text{ VD}}$ an R_u beteiligt ist, mit X_2 das Gewicht, mit dem $h_{u \text{ I}}$ zu R_u beiträgt usw. (bis X_m , das der letzten Modellantizipation h_{uR}^* entspricht), so erhalten wir folgende Gleichung, bei der die Anzahl der zu detektierenden Superzeichen nicht festgelegt ist:

$$h_{u \text{ VD}} \cdot X_1 + h_{u \text{ I}} \cdot X_2 + h_{u \text{ I/II}} \cdot X_3 + h_{u \text{ I/II/III}} \cdot X_4 + \dots + h_{uR}^* \cdot X_m = R_u \quad (75)$$

Erweitert man diese Vektorenaddition zu einer Matrix, so resultiert :

$$h_{1 \text{ VD}} \cdot X_1 + h_{1 \text{ I}} \cdot X_2 + \dots + h_{1R}^* \cdot X_m = R_1$$

$$h_{2 \text{ VD}} \cdot X_1 + h_{2 \text{ I}} \cdot X_2 + \dots + h_{2R}^* \cdot X_m = R_2$$

.....

$$h_{u \text{ VD}} \cdot X_1 + h_{u \text{ I}} \cdot X_2 + \dots + h_{uR}^* \cdot X_m = R_u$$

Dieses Gleichungssystem läßt sich auch als Matrixoperation formulieren. M sei die Matrix (bzw. der Supervektor) aller Modellantizipationen und X der Vektor aller Gewichte :

$$R \text{ ergibt sich dann als : } R_u = {}_u M_m \cdot X_m \quad (76)$$

$$\begin{bmatrix} h_{1 \text{ VD}} & h_{1 \text{ I}} & \dots & h_{1R}^* \\ h_{2 \text{ VD}} & h_{2 \text{ I}} & \dots & h_{2R}^* \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{u \text{ VD}} & h_{u \text{ I}} & \dots & h_{uR}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_u \end{bmatrix}$$

Da X_m unbekannt ist, kann diese Gleichung durch beidseitige Multiplikation mit der Inversion von M aufgelöst werden :

$$\begin{aligned} M^{-1} \cdot M \cdot X &= M^{-1} \cdot R \\ I \cdot X &= M^{-1} \cdot R \\ X &= M^{-1} \cdot R \end{aligned} \quad (77)$$

Da M bekannt ist und R experimentell bestimmt werden kann, ließe sich auf diese Weise eine Schätzung von X erhalten. Diese Methode läßt jedoch keine statistische Schwankungsbreite hinsichtlich der Anpassung von empirischem und theoretischem Gesamtreaktionsvektor zu und wird daher im Folgenden durch ein Simulationsverfahren verfeinert.

Gleichung (76) beschreibt in kohärenter Weise das Reproduktionssystem, durch das das Detektionsmodell ergänzt werden soll. Die in dieser Gleichung zusammengefaßten Annahmen werden deshalb, abgesehen von einigen die Flexibilität des Systems steigernden Differenzierungen unverändert in die folgenden Simulationsmodelle übernommen.

VI. Die Kombination von Detektionssystem und Reproduktionssystem in umfassenden Simulationsmodellen.

In diesem Kapitel wird der Versuch unternommen, die bisher formulierten Annahmen und Deduktionen über die bei der informationellen Adaptation an Superstrukturen wirksamen Mechanismen in konkret-datenbezogenen Modellen zu organisieren und den Adaptationsvorgang zu simulieren.

Ein Simulationsversuch setzt sich gewöhnlich das Ziel, durch sukzessive minimale Modifikationen des theoretischen Konzepts eine Optimalisierung der Anpassung an die realen Fakten zu erreichen. Der Weg zu diesem Ziel gliedert sich im vorliegenden Fall in zwei Etappen :

A) Die Auswahl eines oder mehrerer von vielen logisch möglichen Modellen nach dem Kriterium der erwarteten Detektionsleistung. Entscheidend ist also hier die Frage, in welcher Weise die apriori festgelegte Superstruktur des Kollektivs angenähert wird. Da diese Festlegung der Detektionsleistung rein theoretisch erfolgt, ist durch die Optimierung des Simulationsmodells in dieser Richtung noch keine empirische Validierung impliziert. Die empirische Korrektur dieser ersten Simulationsetappe soll nicht Gegenstand dieser Arbeit sein, denn sie setzt, wie später noch eingehend gezeigt werden wird, eine in dieser Arbeit noch nicht erreichte Komplexität des Simulationsmodells voraus (Expansion auf Superzeichen höherer Ordnung !).

B) Die Angleichung des Reaktions-Outputs des (oder der) unter A) als optimal erachteten Modells (Modelle) an die empirischen Reaktionswahrscheinlichkeiten durch die Variation von Modellparametern. Variiert wird in der vorliegenden Arbeit nur die Größe IC. Als weitere Variationsmöglichkeiten sind beispielsweise vorgesehen : Variation der Apperzeptionsspanne und Maximalordnung

der Sequenzcodierung.

1. Beschreibung der Basisstruktur der Simulationsmodelle

A - D

Wie bei dem in Kapitel IV beschriebenen probabilistischen Detektionsmodell werden auch bei der folgenden Darstellung Simulationsmodell und entsprechendes Computer-Programm aus den in Kapitel IV näher erörterten Gründen simultan behandelt.

Rein programmtechnisch gliedert sich das Simulationsmodell in fünf Teile (Hauptprogramm und vier Subroutines). Diese Abschnitte (MOD, PRAEHUFF, HUFFCODE, ICOMP, DETEKTA) entsprechen in etwa auch wesentlichen Phasen des Detektionsprozesses.

Wie bereits erwähnt bezieht sich das Simulationsgeschehen auf ein konkretes Zeichenkollektiv und zwar jenes, das auch den Versuchspersonen im Experiment dargeboten wird (Teil 4). Dieses Zeichenkollektiv ist im Versuch in 40 Versuchsstadien untergliedert. Es besteht aus einer zufälligen Abfolge von 6 verschiedenen Superkontexten. Jeder Superkontext besteht aus 4 verschiedenen Ziffernpaaren. Die Superkontexte sind alle untereinander teildentisch und zwar nicht bezüglich der Ziffernpaare, sondern nur bezüglich der Einzelziffern. Versuchsplan und Instruktion sind jedoch so angelegt, daß die Ziffernpaare als Reizelemente (Elementarzeichen) empfunden werden. (Näheres darüber in Teil 4.)

Die Superkontexte I - VI bestehen demnach aus insgesamt 24 verschiedenen Elementarzeichen und sind auf dem Niveau der Elementarzeichen einander maximal unähnlich. Die 24 Elementarzeichen werden im Simulationsprogramm durch 24 Buchstaben des Alphabets symbolisiert :

Superzeichen	I	II	III	IV	V	VI
Elemente	ABCD	EFGH	IJKL	MNOP	QRST	UVWX

Das gesamte Zeichenkollektiv wird in dieser Übersetzung dem Detektionssystem als externer Input eingegeben (Vektor LXU). Das Subsystem "Simulierte zeitliche Verzögerung" rasterb den Gesamtreaktionsvektor in die einzelnen Versuchsabschnitte (der entsprechende Indikator IM läuft von 1 bis 40). Es produziert den internen Inputvektor LX, der dem jeweiligen Detektionsprozeß zugrunde gelegt wird. LX umfaßt das gesamte Zeichenkollektiv vom Beginn des 1. Versuchsstadiums bis zum Ende des gerade hinzukommenden Versuchsabschnitts. In Versuchsstadium 40 ist LX identisch mit LXU.

Das Programm weicht hier von der idealen Modellstruktur etwas ab : Aus speichertechnischen Gründen wurde die maximale Versuchslänge auf die Hälfte des Gesamtkollektivs (= Versuchsstadium 1-20) begrenzt. Die Versuchsstadien 21 bis 40 wiederholen also vom Zeichenrepertoire her den ersten Teil des Gesamtversuchs. Von der Häufigkeitsstruktur des Zeichenkollektivs her besteht jedoch über den gesamten Versuch Kontinuität, ebenso wie hinsichtlich der Reduktion des Zeichenkollektivs bei Detektionen. Die durch die Verkürzung des Zeichenkollektivs in Versuchsstadium 21 ausgelösten momentanen Schwankungen der ordnungsspezifischen Informationsbeträge gleichen sich durch die Kontinuität der übrigen Faktoren schnell wieder aus und müssen sowohl bezüglich des Detektionsverlaufs als auch bezüglich der Schätzung der Reproduktionshäufigkeiten als irrelevant bezeichnet werden.

Im Prinzip kann also für alle Versuchsstadien die maximale Repräsentation des bisher dargebotenen Zeichenkollektivs angenommen werden (wie dies ja auch im Modell PROGNOSE vorausgesetzt wurde).

Der interne Inputvektor wird weitergegeben ins Subsystem PRAEHUFF . Dort werden die Sequenzen erster bis maximaler Ordnung (= KOMAX = 7) hergestellt (Programmteil "Bildung der Kontextmatrix"). Diese Kontextmatrix wird Vektor für Vektor dem Subsystem HUFFCODE übergeben. Jeder Vektor enthält alle Sequenzen eines bestimmten Ordnungsgrades (IIS) des vorliegenden Versuchsstadiums.

HUFFCODE besteht aus vier Abschnitten. Im ersten Abschnitt "Sequenzhäufigkeiten" werden alle identischen Sequenzen des jeweils eingegebenen Vektors gezählt und für alle verschiedenen Sequenzen wird ein Häufigkeitsvektor (LH) erstellt. Dieser bildet die Grundlage für die im zweiten Abschnitt "Informationsstruktur" erfolgende Bestimmung der Effektivinformation für die einzelnen Sequenzen (INB). INB ist der Informationsvektor aller verschiedenen Sequenzen; er wird anschließend zurückgeführt auf den Informationsvektor aller Sequenzen (INFX). Der dritte Programmteil von HUFFCODE "Entropieproportionale Reproduktion der Sequenzen" schätzt aus den Entropiebeiträgen der Sequenzen die Reproduktionshäufigkeiten für den Vektor im vorliegenden Versuchsstadium. Zweiter und dritter Abschnitt von HUFFCODE repräsentieren den im letzten Kapitel (V) durch den Operator Q beschriebenen Komplex von Operationen (Gleichung (45)). (Der matrixbezogene Operator Q^+ erübrigt sich, im Simulationsmodell, da Matrizen aus Speichergründen immer nur vektorenweise behandelt werden !).

Im Abschnitt "Selektion" werden die sequenzbezogenen Reproduktionsschätzungen reduziert auf elementbezogene Wahrscheinlichkeiten. Die Operationen dieses Abschnitts sind vergleichbar der Wirkung der Selektoren S (Gleichungen (50), (59) und (67)) bis auf die Tatsache, daß das Simulationsmodell nicht Häufigkeiten der Reproduktionselemente, sondern deren Wahrscheinlichkeiten liefert. (Natürlich ist der Selektionsvorgang in HUFFCODE ebenfalls vektorbezogen).

Das Subsystem HUFFCODE wird von allen Sequenzvektoren durchlaufen, wobei in Reihenfolge der Kontextordnung (1-KOMAX) vorgegangen wird. Für jeden Ordnungsgrad existiert nun ein Reproduktionsvektor. Der durchschnittliche Reproduktionsvektor gelangt zum Output-System Y.

Sobald der Ordnungsgrad 2 erreicht ist, wird nach Durchlaufen von HUFFCODE das Subsystem ICOMP zugeschaltet. In diesem System wird die Informationsdifferenzmatrix konstruiert. Diese kommt dadurch zustande, daß vom sequenzbezogenen Informationsvektor der Ordnung IIS (= $INFX(IIS)$) jeweils der Vektor der Ordnung IIS-1 subtrahiert wird. Bei einem maximalen Ordnungsgrad der Sequenzen von KOMAX enthält also die Matrix der Informationsdifferenzen KOMAX-1 Vektoren der Länge des gerade vorliegenden internen Inputvektors. Da bei jedem Zeichen des dargebotenen Kollektivs KOMAX Sequenzen verschiedener Ordnung beginnen können und folglich KOMAX-1 sequenzbezogene Informationsdifferenzen entstehen können, wird durch die Informationsdifferenzmatrix für jedes Zeichen eine Spalte aller auftretenden Informationsdifferenzen reserviert. Weil, entsprechend den oben deduzierten Vorstellungen, nur dann eine Detektion erfolgen soll, wenn die Informationsdifferenz zwischen zwei Kontexten aufeinanderfolgender Ordnung einen bestimmten kritischen Wert IC erreicht oder überschreitet, wird die Größe IC von der Informationsdifferenzmatrix subtrahiert. Alle Eingänge dieser Matrix, die kleiner als IC werden, sind gleich 0, so daß in der Residualmatrix (IFDA) nur die kritischen Werte verbleiben. (Auch diese Operationen werden vektorenweise abgewickelt.)

Nach Beendigung dieses Vorgangs wird die Informationsdifferenzmatrix dem Detektionssystem DETEKTA übergeben. Dort findet, im Prinzip nach den oben besprochenen Kriterien, die Detektion statt. Der Detektionsvorgang ist jedoch nicht, wie bisher jeweils vereinfachend angenommen, auf Sequenzen der Superordnung (=4) festgelegt. Es können auch, bei Erfüllung der Detektionskriterien, Sequenzen niedrigerer bzw. höherer Ordnung zu Superzeichen werden. Da eine derartige Detektion

auf verschiedenen Wegen durchgeführt werden kann, wurden mehrere Modifikationen des Detektionsprozesses erprobt. Die Modifikationen A-D betreffen nur das Subsystem DETEKTA des Simulationsmodells, die Modifikationen E und F hingegen erfordern eine teilweise Umgestaltung auch der restlichen Programmteile. Bevor jedoch auf diese Varianten eingegangen wird, soll der elementare Aufbau des Modells zu Ende besprochen werden.

Alle in DETEKTA gefundenen Superkontexte beliebiger Ordnung werden in der Superzeichenmatrix LSA gespeichert und gleichzeitig dem Output-System Y übergeben. LSA wird zurückgegeben ins Subsystem PRAEHUFF. Gleichzeitig erscheint, nach Beendigung der Subroutine DETEKTA, in PRAEHUFF ein um das Versuchsabschnitt IM verlängerter Input-Vektor. Im Abschnitt "Extraktion der Superzeichenmatrix" werden alle Elemente des Inputvektors von der gerade vorliegenden Sequenzordnung im Umfeld des detektierten Superzeichens gleich 0 gesetzt, d.h. für weitere Kontextmanipulationen unzugänglich gemacht. Der auf diese Weise reduzierte Inputvektor wird weitergegeben an den Sektor "Bildung der Kontextmatrix", wo für die Konstruktion der Sequenzen nur noch zusammenhängende Elementreihen des Residualvektors herangezogen werden können.

Der weitere Ablauf der Simulation ist bekannt.

Der Vorgang wird solange fortgesetzt, bis alle im Zeichenkollektiv auftretenden Elemente Teile eines Superzeichens sind, bzw. bis das letzte Versuchsstadium (IM=40) absolviert ist.

2. Die Detektionsmodifikationen A-D

Diese Modifikationen erstrecken sich nur auf das Subsystem DETEKTA.

Allen Modifikationen gemeinsam ist, daß eine Sequenz beliebiger Ordnung dann zum Superzeichen werden kann, wenn ihr Informationsabstand zum entsprechenden übergeordneten Kontext den kritischen Wert IC erreicht oder übersteigt, d.h. , wenn der ihr entsprechende Eingang in der reduzierten Informationsmatrix IFDA ungleich Null ist. Wird eine Sequenz, die diese Bedingung erfüllt auf beliebige Weise ausgesondert und zum Superzeichen erklärt (z.B. FGHI), so müßten alle in dieser Sequenz enthaltenen Sequenzen niedrigerer Ordnung bzw. alle diese Sequenz teilweise oder ganz enthaltende Sequenzen höherer Ordnung (also z.B. FG bzw. FGHIJK) auch wenn sie die Detektionsbedingung erfüllen für die weitere Detektion unzugänglich gemacht werden.

Diese Annahme wird überflüssig, wenn Superzeichen höheren Grades in die Betrachtung miteinbezogen werden. Sie ist überdies nur für ein Zeichenkollektiv mit lückenloser Superordnung und maximal verschiedenen Superkontexten sinnvoll !

Das Ergebnis des Detektionsprozesses könnte aber in unserem Modell mitbeeinflußt sein von der Sequenzordnung, bei der die Detektion beginnt. Um die Abhängigkeit des Detektionsergebnisses vom Detektionsablauf unter Kontrolle zu bekommen, bzw. eine eventuelle Invarianz des Detektionsergebnisses gegenüber der Detektionsmethode nachzuweisen, wurden zunächst vier verschiedene und nach reinlogischen Kriterien typische Varianten des Detektionsverlaufs entworfen. (Abb.6)

Modifikation A

Hier ist das Subsystem DETEKTA so eingerichtet, daß der Detektionsvorgang bei der niedrigsten Sequenzordnung beginnt. Das Maximum des entsprechenden Vektors der reduzierten Informationsdifferenzmatrix liefert, wenn nicht der gesamte Vektor vom Wert 0 ist,

Abbildung 6
Flußdiagramm der Modellmodifikationen
MOD A - D

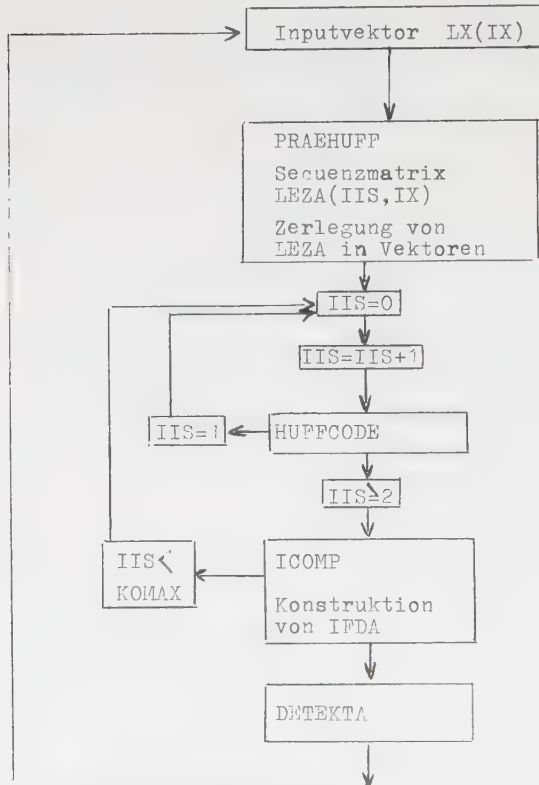


Abbildung 6 (Fortsetzung)

Flußdiagramm der Modellmodifikation E

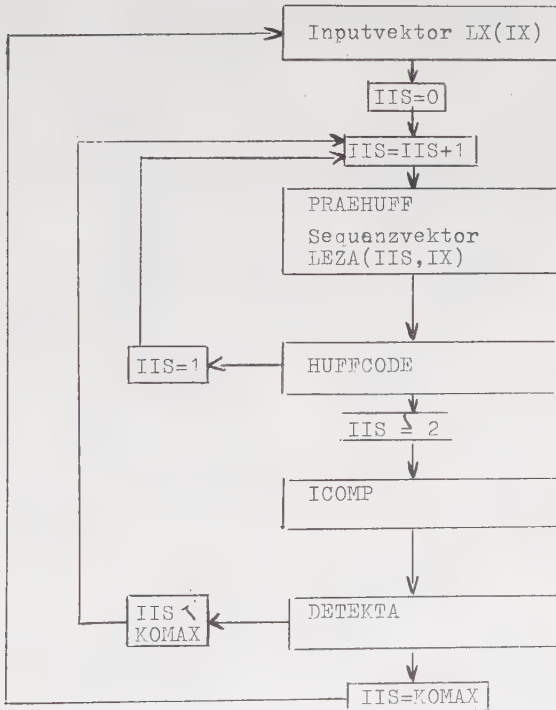
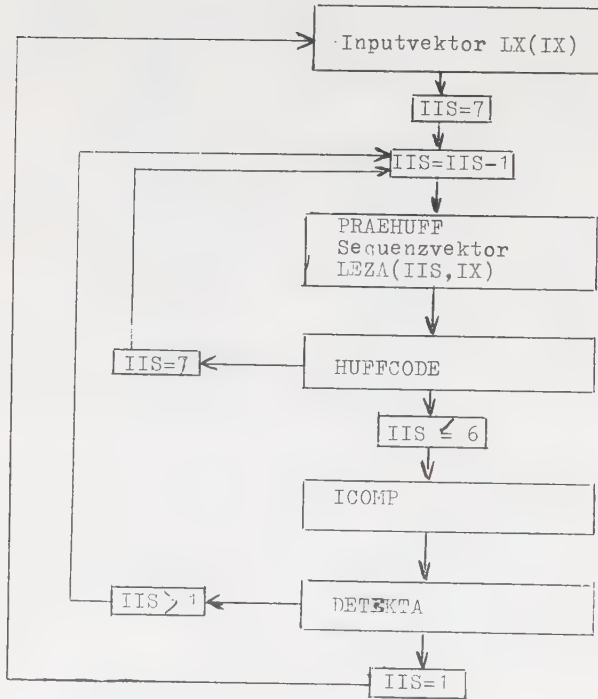


Abbildung 6 (Fortsetzung)

Flußdiagramm der Modellmodifikation F



das erste Superzeichen, in diesem Fall ein Element des Zeichenkollektivs. Der Vorgang schreitet fort bis zur Ordnung KOMAX-1.

Modifikation B

Die Detektion beginnt beim höchsten Sequenzniveau und richtet sich ebenfalls wieder nach dem Maximum der ordnungsspezifischen Vektoren.

Modifikation C

Zur Grundlage der Detektion wird hier das Maximum des Spaltenvektors in der reduzierten Informationsdifferenzmatrix für das zugehörige Element. Ist der Spaltenvektor für ein bestimmtes Element ungleich 0, so indiziert das Maximum des Vektors die Ordnung der Sequenz und das zugehörige Element den Beginn der Sequenz, die als Superzeichen detektiert wird.

Modifikation D

Die Detektion richtet sich hier nach dem Maximum der gesamten reduzierten Informationsdifferenzmatrix.

Weiterer Verlauf der Detektion bei den Modifikationen A-D :

Ist bei einem bestimmten Vektor (Modifikationen A,B, C) bzw. bei der gesamten Informationsdifferenzmatrix (D) die erste Detektion erfolgt, so wird der detektierte Kontext sofort auch bezüglich seines sequenzabhängigen Umfeldes extrahiert. Die dadurch betroffenen Elemente sind für weitere Detektionen unzugänglich, die Informationswerte der bei ihnen beginnenden Sequenzen werden in der reduzierten Informationsdifferenzmatrix 0 gesetzt. Nach diesem Extraktionsprozeß wird der gleiche Vektor bzw. die Matrix nach einem neuen Maximum durchsucht. Sind alle Zellen eines Vektors 0, so wird die Detektion bei Vektoren des folgenden Ordnungsgrades

fortgesetzt, bis die Ordnung KOMAX-1 erreicht ist. Sind im Fall der Modifikation D alle Matrixzellen zu 0 geworden, so kann der Detektionsvorgang abgebrochen werden (Vgl. Anhang, Darstellung der Programme MOD A-D)

3. Die Detektionsmodifikationen E und F

Die Modifikationen E und F des Simulationsmodells stellen Abwandlungen der Varianten A und B dar. Der Unterschied zu den beiden letzteren liegt in anderen Abfolge der Subsysteme. Während bei A und B im Subsystem DETEKTA die Informationsdifferenzmatrix für das vorliegende Versuchsstadium bereits komplett vorliegt, gelangt in E und F immer nur ein Reihenvektor der reduzierten Informationsdifferenzmatrix zur Detektion und zwar bei E (entsprechend zu A) in der Reihenfolge niedrigste - höchste Sequenzordnung, bei F in der umgekehrten Reihenfolge (entsprechend B). Die reduzierte Informationsdifferenzmatrix existiert nur bis zu diesem Vektor entsprechenden Sequenzordnung. Ebenso sind durch PRAEHUFF nur die Sequenzen bis zur Ordnung des vorliegenden Vektors einschließlich konstruiert. Der Detektionsvorgang vollzieht sich wie bei A und B nach dem Maximum des Vektors bzw. des Residualvektors bei mehreren Detektionen.

Nachdem ein Vektor das Subsystem DETEKTA durchlaufen hat, wird die Superzeichenmatrix (LSA) lediglich bis zur Ordnung dieses Vektors (in E beginnend bei der Elementordnung, in F beginnend bei der Maximalordnung) konstruiert. Diese partielle Superzeichenmatrix wird zurückgegeben an PRAEHUFF. Dort findet bereits die Extraktion der bisher im vorliegenden Versuchsstadium detektierten Superzeichen statt, bevor die Sequenzvektoren der folgenden Ordnungsgrade konstruiert werden. Dadurch wird im Vergleich zu A und B bei E und F eine unmittelbare Wirkung gerade ablaufender Detektionen

erreicht, denn die Entropie noch zu konstruierender Sequenzvektoren ist u.a. eine Funktion von Detektionen des vorliegenden Versuchsstadiums.

Den Modifikationen E und F liegt demnach inhaltlich die Annahme einer (bezüglich der Sequenzordnungen) sukzessiven Detektion und Extraktion zugrunde, den Modifikationen A und B die einer sukzessiven Deduktion und simultanen Extraktion, der Modifikation D die einer simultanen Detektion und Extraktion. A und E bzw. B und F differenzieren nach der Richtung der Detektionsabfolge bezüglich der Sequenzordnung.

Modifikation C nimmt eine Sonderstellung ein. Die Detektion erfolgt zwar sukzessiv, die Richtung der Sukzession wird jedoch durch die Richtung des Versuchsvorgangs extern gesteuert. Extraktion der Superzeichen und Konstruktion der Informationsdifferenzmatrix vollziehen sich wie in A, B und D simultan.

Die durch die Modifikationen A - F des Simulationsmodells implizierte systematische Variation der Modellstruktur kennzeichnet die erste Simulationsetappe. Gesucht wird in dieser Phase der Simulation ein Modell, das die Superstruktur des Zeichenkollektivs in möglichst guter Annäherung analysiert. Wie durch die Darstellung des Modells klar wurde, führen die verschiedenen Modifikationen des Detektionsvorgangs nicht notwendig zur Erfassung der apriori vorgegebenen Superkontexte. Die Detektion wurde ja, im Gegensatz zum System PROGNOSE für alle Sequenzordnungen freigegeben. Eine Modellmodifikation, die sich besonders gut der erwarteten Superstruktur angleicht, wird zunächst für die weiteren Simulationsphasen bevorzugt behandelt.

Wenden wir uns nun Modellgrößen zu, die mit dem zweiten Schritt der Simulation zusammenhängen.

4. Die kritische Informationsdistanz IC

Die Größe IC hat für die vorliegenden Modellmodifikationen nicht nur die Funktion eines Simulationsparameters, sondern, wie im weiteren zu zeigen sein wird, auch die eines Fehlerabsorbers. Gerade aus dem letzten Grunde muß ihre wahre Größe zunächst in Frage gestellt werden.

Für die Berechnung der Informationsstruktur der Sequenzvektoren sollte ein Verfahren herangezogen werden, das die Informationsbeträge in Anlehnung an eine effektive Binärcodierung bestimmt, wobei von dieser Binärcodierung minimale Redundanz zu fordern ist. HUFFMAN hat ein solches Verfahren entwickelt (HUFFMAN, 8).

Ein Kollektiv von verschiedenen Elementen wird in eine Häufigkeitsrangreihe gebracht. Die beiden seltensten Elemente sind nun mit je einer Binäreinheit zu versehen (bei beabsichtigter Codierung z.B. mit den Symbolen 0 und 1). Für die beiden bereits signierten Elemente wird ein neues fiktives Element eingeführt, das mit der Summe der Häufigkeiten der beiden ursprünglichen Elemente in das reduzierte Kollektiv eingeht. Das reduzierte Kollektiv wird nun dem gleichen Verfahren unterzogen usw. . Bereits zu fiktiven Einheiten kombinierte Elemente können erneut am Ende der Rangreihe auftreten und so mit anderen Elementen oder Elementkombinationen zu noch größeren Komplexen zusammengefaßt werden. Ist das Ausgangskollektiv auf zwei Elementkomplexe reduziert, so schließt der Codiervorgang mit der Signierung dieser beiden Komplexe durch je eine Binäreinheit.

Nun ist festzustellen, wie oft jedes der Ausgangselemente als Element bzw. innerhalb eines Elementkomplexes an einem Signiervorgang beteiligt war. Diese Anzahl entspricht genau dem ihm durch die Codierung zugeteilten ganzzahligen Informationsbetrag nach einer Binärüber-

setzung. (Die Binärübersetzung selbst wäre identisch mit der Darstellung des ursprünglichen Elementes durch die ihm entsprechende Kette von Binärzeichen.)

Dieses Verfahren wurde in das Simulationsmodell eingearbeitet (Programmteil "Informationsstruktur"). Der Simulationsprozeß erforderte jedoch infolge dieser sehr umständlichen Manipulation besonders bei anwachsender Größe des Zeichenkollektivs sehr hohe Rechenzeiten, so daß der Übergang auf ein Approximationsverfahren notwendig wurde.

Eine brauchbare Schätzung des effektiven Informationsgehaltes erhält man durch die Aufrundung der über die Gleichung $I = \lg p_i$ erhaltenen theoretischen Informationsbeträge. Die minimale Redundanz ist dadurch nicht mehr ideal gewährleistet; die Informationsbeträge liegen also teilweise etwas höher als bei der Effektivcodierung.

Bei maximaler Entropie gilt dies in gleicher Ausprägung für alle Einheiten des Kollektivs, bei nichtmaximaler Entropie ist, je nach der Struktur des Kollektivs, nur ein Teil der Einheiten betroffen. Dies hat zur Folge, daß bei Approximationscodierung zwar im allgemeinen (gegenüber der Effektivcodierung) keine niedrigeren Informationsdistanzen zu erwarten sind, wohl aber mitunter höhere, so daß also ein früheres Eintreten der Detektion eines bestimmten Superzeichens wahrscheinlicher ist.

Gerade dieser Einfluß der Informationsberechnungstechnik auf den Detektionsverlauf läßt sich aber durch die Wahl der Größe IC annähernd kompensieren : Wird IC um jenen Betrag erhöht, der in etwa mit der artifiziellen Vergrößerung der Informationsdistanzen übereinstimmt, so bleibt der Detektionsverlauf invariant gegenüber der Berechnungstechnik.

Ob die durch das Modell geschätzten Reaktionswahrscheinlichkeiten durch die Approximationscodierung gegenüber

der Effektivcodierung verändert werden, soll am konkreten Beispiel entschieden werden (vgl. Teil 3).

Zusammenfassend läßt sich zur Variation der Größe IC folgendes bemerken :

Die Variation von IC ist Teil eines umfassenderen Simulationsplanes (oben gekennzeichnet als zweiter Simulationsschritt) . Neben IC ist die Abwandlung noch weiterer relevanter Modellgrößen vorgesehen, u.a. der Apperzeptionsspanne und der maximalen Sequenzkapazität. Der empirische Wert von IC läßt sich erst nach Beendigung dieses zweiten Schritts angeben. Vorläufig dient, wie gezeigt werden konnte IC im wesentlichen der Kompensation von Modelleinschränkungen. Aus diesem Grunde wurde die Variation von IC auch bereits in das vorliegende Konzept miteinbezogen.

D r i t t e r T e i l

T h e o r e t i s c h e I m p l i k a t i o n e n d e s D e t e k t i o n s m o d e l l s

Der folgende Abschnitt beschäftigt sich mit theoretischen Schlußfolgerungen und Erweiterungen, die aus dem dargestellten Detektionsmodell ableitbar sind. Im Vordergrund stehen die Ergebnisse der probabilistischen Detektionssimulation PROGNOSE so wie des ersten Simulationsschritts der konkreten Modelle MOD A-F (Kap. II/III).

Mit Hilfe dieser Ergebnisse wird versucht, die theoretischen Erwartungen in Bezug auf den Detektionsprozeß zu präzisieren, andererseits eine erste Beziehung zu psychologischen Vorstellungen über die Superzeichenbildung herzustellen.

I. Die Grundannahme des Detektionsmodells

In Teil 2 , Kap. II/1) und 2) wird die Grundannahme des Detektionsmodells an einem vereinfachten Schema demonstriert. Durch dieses Schema wurde gewährleistet, daß auf dem unmittelbar der Superordnung folgenden Sequenzniveau maximale Entropie herrschte. Die Ableitungen dieses Kapitels führten zur Gleichung (5) , durch die eine monoton steigende Beziehung zwischen Informationsdistanz und Häufigkeit eines Superkontextes ausgedrückt wird.

$$ID_d = \lg N_{j,d} \quad (5)$$

Der Grenzfall, für den diese Gleichung formuliert wurde ist gekennzeichnet durch das Auftreten eines Superkontextes unter vielen Elementen mit geringer Wahrschein-

lichkeit (bzw. wenig wahrscheinlichen Superkontexten).
Die Verallgemeinerung dieses Extremfalls führte zu Gleichung (14)

$$IDMAX_{KS,e} = - \lg \min (PK_1, PK_2, \dots PK_{KON})$$

(14)

Durch diese Gleichung wird ausgedrückt, daß im Normalfall eines Detektionsvorgangs (bei Kollektiven mit mehreren Superkontexten in lückenloser Aufeinanderfolge mit Auftrittswahrscheinlichkeiten im Mittelbereich), die einem Superkontext zugeordnete Informationsdistanz abhängig ist vom Minimum der Auftrittswahrscheinlichkeiten aller seiner Nachfolgerkontexte.

Die Gleichungen (5) und (14) arbeiten, wie bereits dargelegt, aus rechentechnischen Gründen mit dem theoretischen Informationsbegriff. Den Modellprämissen entsprechend müßte aber bereits die beiden Gleichungen vorausgehende Deduktion über Effektivcodierung der Informationsträger erfolgen. Dies hätte zur Folge, daß in allen Gleichungen, die über $\lg$ errechneten theoretischen Informationsbeträge ersetzt werden müßten durch die über Effektivcodierung gewonnenen ganzzahligen Informationsbeträge. Die Gleichungen (5) und (14) ließen sich zwar dann nicht mehr in der dargelegten Weise erhalten, was den algebraischen Rechengang betrifft; es kann jedoch angenommen werden, daß diese Gleichungen den durch Effektivcodierung gewonnenen numerischen Wert von ID ausreichend annähern.

Während die Näherungsgleichungen aber kontinuierliche Funktionen darstellen, würde ein entsprechender effektiver Informationsbetrag nicht kontinuierlich, sondern in Quanten von 1 Bit anwachsen. Um dieser Eigenschaft einer effektiv erhaltenen Informationsdistanz besser gerecht werden zu können, sollte in den Näherungsbeziehungen die Operation $\lg$ durch den Operator $[\lg]$

ersetzt werden, ein Operator, der die Aufrundung des jeweils über ld erhaltenen Informationsbetrages auf die nächst höhere ganze Zahl bewirkt.

$$ID_d = \lceil ld \rceil N_{j,d} \quad (5a)$$

$$IDMAX_{KS,e} = -\lceil ld \rceil \text{MIN} (PK_1, PK_2, \dots, PK_{KON}) \quad (14a)$$

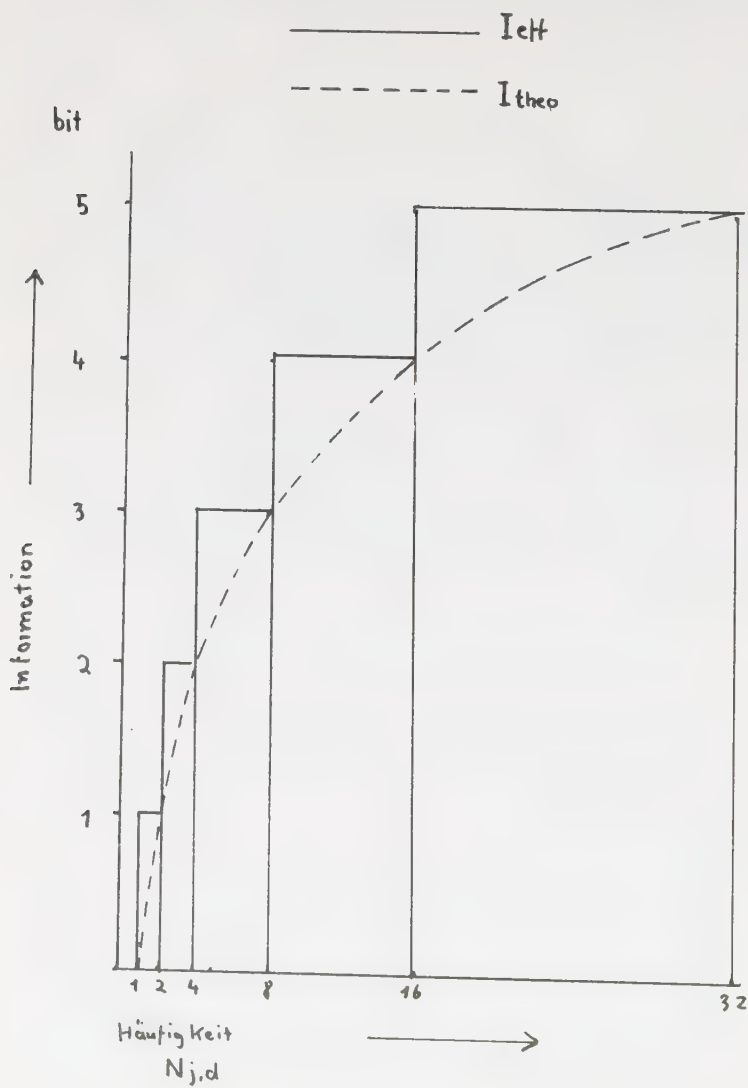
Gleichung (5a) wäre nun geeignet, das Anwachsen der Informationsdistanz eines Superzeichens in Abhängigkeit von seiner Darbietungshäufigkeit für den oben geschilderten Grenzfall zufriedenstellend zu beschreiben und gleichzeitig für diesen vereinfachten Fall eine anschauliche Darstellung zu liefern (Abb.7)

Wie aus Abb. 7 ersichtlich ist, wird durch die Eigenschaft der effektiven Informationsdistanz, in Quanten anzusteigen bereits die Vorstellung nahegelegt, daß auch die Detektion, die ja in engem Zusammenhang mit der Größe der Informationsdistanz gesehen wird, sich gleichzeitig mit einem solchen Informationssprung vollzieht.

Bei der Modellkonstruktion in den vorangegangenen Kapiteln wurde der Begriff der kritischen Informationsdistanz axiomatisch gesetzt. Die kritische Informationsdistanz wurde als ein ganzzahliger Informationsbetrag definiert, der von der Informationsdistanz eines Superkontextes erreicht oder überboten werden muß, um dessen Detektion zu bewirken. Dieser Modellansatz erfährt nun nachträglich über die Analyse der Gleichung 5a eine anschauliche Plausibilisierung.

Der formalen Begründung kann aber noch eine psychologische hinzugefügt werden: Da Superzeichenbildung und "Einsicht" bzw. plötzliches Umstrukturieren psychologisch in enger Nachbarschaft zu sehen sind, könnte der Informationsquantensprung eines Superkontextes von

Abb. 7 Quantenförmiger Anstieg der Effektivinformation



einem noch unkritischen auf den kritischen Betrag IC als Analogon zur erlebnismäßigen Unmittelbarkeit des Einsichtsvorgangs gelten.

Diese psychologische Implikation des Modells ist natürlich nicht nur im, durch Gleichung (5a) beschriebenen Grenzfall gegeben, sondern in allen Generalisierungen dieser Gleichung, wenn der Begriff der Effektivinformation zugrundegelegt wird. So wird auch Gleichung (14a) ähnlich wie (5a) zu einer treppenförmigen Kurve führen, die über die Vorstellung von Informationsquanten der Hypothese einer sprunghaften Detektion gerecht wird.

Durch Gleichung (14) wird bereits ausgedrückt, daß im allgemeinen ein Superkontext dann mehr Chancen hat, erkannt zu werden, wenn die Auftrittswahrscheinlichkeiten seiner Nachfolgerkontexte gering sind. Dessen ungeachtet steigt natürlich die Wahrscheinlichkeit der Detektion mit der Wahrscheinlichkeit des zu detektierenden Superkontextes (Gleichung (16)).

Zur besseren Verdaulichung dieser Zusammenhänge gegenwärtige man sich das Informationskontinuum (aller Ordnungsgrade) , das der Wahrscheinlichkeitsstruktur einer fortlaufenden Reihe von Zeichen entspricht.

Immer dort, wo Informationsmaxima vorliegen, postuliert das Detektionsmodell eine Art "Kohärenzeffekt" , der die dem Informationsmaximum vorangehende Zeichenfolge als Ganzheit erscheinen läßt, bzw. deren ganzheitliche Wahrnehmung begünstigt.

Will man dieses deduktiv gefundene Phänomen mit weiteren psychologischen Termini in Zusammenhang bringen , so könnte man hier von einer "Kontrastbedingung" der Superzeichendetektion sprechen und gelangte dabei in die Nachbarschaft von Gestaltgesetzen.

II. Simulationen mit dem probabilistischen Detektions-Konfidenz-Modell PROGNOSE

1. Darstellung der Input-Modifikationen

a) Die Variationstypen des Gesamtkollektivs

Wie bereits erwähnt, sollten die theoretischen Manipulationen mit den Input-Größen des Modells PROGNOSE auf jenen kleinen Bezirk aller Möglichkeiten eingeschränkt werden, der in engem Zusammenhang mit der späteren experimentellen Realisation des Detektionskonzepts steht. Aus diesem Grunde wurde zunächst die Anzahl der voneinander verschiedenen Superkontexte bei allen Manipulationen konstant auf der Größe 6 des experimentellen Schemas belassen. Das Gleiche geschah mit der Länge (C) der Superkontexte, die konstant auf 4 blieb. Simulation und Experiment erstreckten sich über 40 gleich lange Versuchsstadien, in denen insgesamt 400 Superkontexte (= 1600 Elementarzeichen) dargeboten wurden.

Variiert wurde die durchschnittliche Wahrscheinlichkeitsstruktur des Ausgangskollektivs. Dabei wurde ebenfalls wieder Bezug auf das experimentelle Konzept genommen: Systematische Abwandlungen der experimentell verwendeten Gesamtstruktur erhielten den Vorzug.

Wahrscheinlichkeitsstruktur des experimentellen Zeichenkollektivs : (Abkürzung E)

Schlüssel für Superkontexte

	31	21	22	11	12	13
Wahrscheinlichkeit	.3000	.2000	.2000	.1000	.1000	.1000

Strukturtyp E enthält neben dem häufigsten Superkontext 31 eine stufenförmig abfallende Wahrscheinlichkeitsverteilung der Superstruktur im Verhältnis 2:1.

Die Modifikation dieser Kollektivstruktur geht nun nach zwei Gesichtspunkten vor sich :

Zunächst interessiert der Einfluß der Wahrscheinlichkeitsvariation des häufigsten Superkontextes 31 auf den Detektionsverlauf bei Konstanzhaltung der Proportionen des Restkollektivs. Andererseits dürfte auch die Struktur des Restkollektivs nicht ohne Einfluß auf die Detektionsleistung sein : Es werden deshalb zwei extreme Ausprägungsgrade der mehr oder minder willkürlichen stufenförmigen Struktur verwendet, die Gleichwahrscheinlichkeit aller Superkontexte des Restkollektivs (H) und der kontinuierliche Wahrscheinlichkeitsabfall (konstante Differenz!) (K).

Modifikationen der Gesamtvariation siehe Tab. 1 .

Um die Vergleichbarkeit der Variationstypen H und K mit dem Typ E zu gewährleisten ist, wie aus Tab. 1 hervorgeht, für H und K ebenfalls eine Wahrscheinlichkeitsvariation des häufigsten Superkontextes 31 unter Konstanzhaltung der Wahrscheinlichkeitsproportionen des Restkollektivs durchzuführen.

Aus der Entropietabelle (Tab.2) ist ersichtlich, daß der durchschnittliche Informationsgehalt der Superstruktur bei gleicher Wahrscheinlichkeit des Kontextes 31 von Typ H über E nach K hin leicht abfällt, ferner, was trivial ist, daß mit abnehmender Konzentration der Wahrscheinlichkeiten die Entropie erheblich anwächst.

Besonders die letztere Tendenz findet Beachtung im Zusammenhang mit der Empfindlichkeit des Detektionsvorgangs gegenüber strukturinternen Entropieverschiebungen.

b) die Variation des Initialkollektivs

Die Abweichung der Wahrscheinlichkeitsstruktur des ersten Versuchsstadiums wird durch die Größe χ^2_{ges} (Gleichung (26)) bestimmt. Da, bedingt durch die

Tabelle 1

Wahrscheinlichkeitskonstellationen der Strukturvarianten

Strukturtyp	Schlüssel der Superkontexte					
	31	21	22	11	12	13
H	.8000	.0400	.0400	.0400	.0400	.0400
	.7000	.0600	.0600	.0600	.0600	.0600
	.6000	.0800	.0800	.0800	.0800	.0800
	.5000	.1000	.1000	.1000	.1000	.1000
	.4000	.1200	.1200	.1200	.1200	.1200
	.3000	.1400	.1400	.1400	.1400	.1400
E	.8000	.0571	.0571	.0286	.0286	.0286
	.7000	.0857	.0857	.0429	.0429	.0429
	.6000	.1143	.1143	.0571	.0571	.0571
	.5000	.1429	.1429	.0714	.0714	.0714
	.4000	.1714	.1714	.0857	.0857	.0857
	.3000	.2000	.2000	.1000	.1000	.1000
K	.8000	.0667	.0533	.0400	.0267	.0133
	.7000	.1000	.0800	.0600	.0400	.0200
	.6000	.1333	.1067	.0800	.0533	.0267
	.5000	.1667	.1333	.1000	.0667	.0333
	.4000	.2000	.1600	.1200	.0800	.0400
	.3000	.2333	.1867	.1400	.0933	.0467

Tabelle 2

Entropien der Strukturvarianten

	Strukturtypen			
	P ₃₁	H	E	K
Vari- anten	.3000	2.5066	2.4465	2.3862
	.4000	2.3643	2.3134	2.2606
	.5000	2.1610	2.1151	2.0742
	.6000	1.8997	1.8632	1.8311
	.7000	1.5777	1.5546	1.5261
	.8000	1.1865	1.1730	1.1513

Konstruktionsweise des Initialkollektivs, einmal eine Verstärkung der Wahrscheinlichkeitskonzentration im Gesamtkollektiv, ein andermal eine Nivellierung der durchschnittlichen Wahrscheinlichkeitsstruktur hervorgerufen wird, ist χ_{ges}^2 so zu wählen, daß auch bei $P_{31} = .8000$ eine noch höhere (initiale) Wahrscheinlichkeitskonzentration P_{31} unter bzw. auf dem Wert 1.0 bleiben läßt. Diese Bedingung wird durch $\chi_{\text{ges}}^2 = 4.3500$, das bei 5 FG mit einer Über- bzw. Unterschreitungswahrscheinlichkeit von 0.5000 auftritt, erfüllt.

Die Abweichung des Initialkollektivs von der durchschnittlichen Wahrscheinlichkeitsstruktur des Gesamtkollektivs wird über 40 Versuchsstadien kompensiert. Zur Veranschaulichung dieses Prozesses sei folgendes Beispiel angeführt:

Abb. 8 schildert den Fall : $P_{31} = .3000$ bei Verstärkung der initialen Wahrscheinlichkeitskonzentration, Abb. 9 den Fall : $P_{31} = .3000$ bei initialer Nivellierung der Wahrscheinlichkeitskonzentration.

Es sei darauf hingewiesen, daß der Verstärkung der initialen Wahrscheinlichkeitskonzentration eine Erniedrigung der initialen Entropie parallel geht. Diese wird erst im Versuchsstadium 40 kompensiert und liegt bis zu diesem Zeitpunkt ständig unter der durchschnittlichen Entropie des entsprechenden Variationstyps. Das Umgekehrte gilt bei initialer Nivellierung der Wahrscheinlichkeitskonzentration.

c) Die Variation der Konfidenzwahrscheinlichkeit

Die Gesamtkonfidenzwahrscheinlichkeit W ist zu einem geringen Teil bereits durch die Wahl von χ_{ges}^2 festgelegt. Die Variation der Größe W wird ausschließlich durch die in Gleichung (36) festgelegte Variable WK getragen. WK variiert in Abhängigkeit der Normalver-

Abbildung 8

Verstärkung der initialen Wahrscheinlichkeits -
konzentration bei $P_{31} = .3000$

MATRIX DER KOLLEKTIVVARIATION

KRITISCHE INFORMATIONSDISTANZ 6

.3781	.2638	.2638	.0528	.0528	.0528
.3382	.2312	.2312	.0769	.0769	.0769
.3248	.2203	.2203	.0850	.0850	.0850
.3182	.2148	.2148	.0890	.0890	.0890
.3141	.2115	.2115	.0915	.0915	.0915
.3115	.2094	.2094	.0931	.0931	.0931
.3095	.2078	.2078	.0942	.0942	.0942
.3081	.2066	.2066	.0951	.0951	.0951
.3070	.2057	.2057	.0958	.0958	.0958
.3061	.2050	.2050	.0963	.0963	.0963
.3053	.2044	.2044	.0968	.0968	.0968
.3047	.2039	.2039	.0971	.0971	.0971
.3042	.2034	.2034	.0975	.0975	.0975
.3038	.2031	.2031	.0977	.0977	.0977
.3034	.2028	.2028	.0980	.0980	.0980
.3030	.2025	.2025	.0982	.0982	.0982
.3028	.2022	.2022	.0983	.0983	.0983
.3025	.2020	.2020	.0985	.0985	.0985
.3022	.2018	.2018	.0986	.0986	.0986
.3020	.2017	.2017	.0988	.0988	.0988
.3018	.2015	.2015	.0989	.0989	.0989
.3017	.2014	.2014	.0990	.0990	.0990
.3015	.2012	.2012	.0991	.0991	.0991
.3014	.2011	.2011	.0992	.0992	.0992
.3012	.2010	.2010	.0993	.0993	.0993
.3011	.2009	.2009	.0993	.0993	.0993
.3010	.2008	.2008	.0994	.0994	.0994
.3009	.2007	.2007	.0995	.0995	.0995
.3008	.2006	.2006	.0995	.0995	.0995
.3007	.2006	.2006	.0996	.0996	.0996
.3006	.2005	.2005	.0996	.0996	.0996
.3005	.2004	.2004	.0997	.0997	.0997
.3004	.2004	.2004	.0997	.0997	.0997
.3004	.2003	.2003	.0998	.0998	.0998
.3003	.2002	.2002	.0998	.0998	.0998
.3002	.2002	.2002	.0999	.0999	.0999
.3002	.2001	.2001	.0999	.0999	.0999
.3001	.2001	.2001	.0999	.0999	.0999
.3001	.2000	.2000	.1000	.1000	.1000
.3000	.2000	.2000	.1000	.1000	.1000

Abbildung 9

Nivellierung der initialen Wahrscheinlichkeits-
konzentration bei $P_{31} = .3000$

MATRIX DER KOLLEKTIVVARIATION

KRITISCHE INFORMATIONSDISTANZ

6

.2182	.1332	.1332	.1451	.1451	.1451
.2600	.1673	.1673	.1221	.1221	.1221
.2740	.1787	.1787	.1143	.1143	.1143
.2810	.1845	.1845	.1105	.1105	.1105
.2852	.1879	.1879	.1082	.1082	.1082
.2880	.1902	.1902	.1066	.1066	.1066
.2900	.1918	.1918	.1055	.1055	.1055
.2915	.1931	.1931	.1047	.1047	.1047
.2927	.1940	.1940	.1040	.1040	.1040
.2936	.1948	.1948	.1035	.1035	.1035
.2944	.1954	.1954	.1031	.1031	.1031
.2950	.1960	.1960	.1027	.1027	.1027
.2956	.1964	.1964	.1024	.1024	.1024
.2961	.1968	.1968	.1022	.1022	.1022
.2965	.1971	.1971	.1020	.1020	.1020
.2968	.1974	.1974	.1018	.1018	.1018
.2971	.1976	.1976	.1016	.1016	.1016
.2974	.1979	.1979	.1014	.1014	.1014
.2976	.1981	.1981	.1013	.1013	.1013
.2979	.1983	.1983	.1012	.1012	.1012
.2981	.1984	.1984	.1011	.1011	.1011
.2983	.1986	.1986	.1010	.1010	.1010
.2984	.1987	.1987	.1009	.1009	.1009
.2986	.1988	.1988	.1008	.1008	.1008
.2987	.1990	.1990	.1007	.1007	.1007
.2988	.1991	.1991	.1006	.1006	.1006
.2990	.1992	.1992	.1006	.1006	.1006
.2991	.1993	.1993	.1005	.1005	.1005
.2992	.1993	.1993	.1004	.1004	.1004
.2993	.1994	.1994	.1004	.1004	.1004
.2994	.1995	.1995	.1003	.1003	.1003
.2995	.1996	.1996	.1003	.1003	.1003
.2995	.1996	.1996	.1003	.1003	.1003
.2996	.1997	.1997	.1002	.1002	.1002
.2997	.1997	.1997	.1002	.1002	.1002
.2998	.1998	.1998	.1001	.1001	.1001
.2998	.1999	.1999	.1001	.1001	.1001
.2999	.1999	.1999	.1001	.1001	.1001
.2999	.2000	.2000	.1000	.1000	.1000
.3000	.2000	.2000	.1000	.1000	.1000

teilungsstandardwerte $\pm Z$ in dieser Gleichung.

Folgender Bereich wurde untersucht :

$\pm Z$	0.5000	bis	3.4000
WK	0.3830	bis	0.9997
W	0.3710	bis	0.9682

Für jede Strukturvariante (z.B. Typ H, $P_{31} = .7000$, initiale Wahrscheinlichkeitsnivellierung) wurde über den genannten Konfidenzbereich in Abständen entsprechend einem Z von 0.1000 ein Detektionsversuch über alle 40 Versuchsstadien simuliert.

d) Die Variation der kritischen Informationsdistanz IC

Mit Hilfe des Simulationsmodells PROGNOSE konnte eruiert werden, daß bei einem Anwachsen der kritischen Informationsdistanz auf einen Wert über 6 Bit bei den meisten Strukturvarianten keine Detektion mehr erfolgt. Der Variationsbereich von IC wurde deshalb auf folgende Wertereihe festgesetzt : 1,2,3,4,5,6 . Es wurden also nur ganzzahlige IC-Wert zugelassen. Da PROGNOSE mit dem theoretischen Informationsbegriff arbeitet ist natürlich prinzipiell eine kontinuierliche Variation von IC gestattet. Die ganzzahlige Variation von IC resultiert also nicht aus den Modellvoraussetzungen, sondern aus ökonomischen Überlegungen.

2. Darstellung der Simulationsergebnisse

a) Zusammenhang zwischen Detektion und Konfidenzwahrscheinlichkeit

Bei nahezu allen Simulationsdurchgängen erwies sich der Detektionsverlauf als unempfindlich gegen die Variation der Größe WK. Mit anderen Worten : Die Größe PRQ (Gleichung (34)) variiert in einem Sektor, der für

die Detektion irrelevant ist. Dies gilt zumindest für den vorliegenden Konfidenzbereich.

Abb. 10 veranschaulicht die Invarianz der Detektionsleistung gegenüber Konfidenzverschiebungen paradigmatisch. Es handelt sich um einen Ausschnitt der Detektions-Konfidenz-Supermatrix. In der Horizontalen der Matrix befinden sich die Versuchsstadien 1-40, in der Vertikalen die Konfidenzwahrscheinlichkeiten W . Die Matrixzellen enthalten bei Detektion eines Superkontextes dessen Schlüssel, andernfalls 0. Für jeden Superkontext ist eine Submatrix reserviert.

Da somit auf die Variation der Konfidenzwahrscheinlichkeit keine Rücksicht mehr genommen werden muß, sind alle weiteren Darstellungen auf die höchste Vertrauenswahrscheinlichkeit des untersuchten Bereiches :

$W = 0.9682$ bezogen

b) Detektionsbereiche und Detektionswiderstände in Abhängigkeit von der Gesamtentropie der Kollektive

Das Detektionsmodell macht die generelle Annahme, daß Superkontexte mit höherer Auftretswahrscheinlichkeit eine höhere Detektionswahrscheinlichkeit besitzen als seltenere Superkontexte (unter sonst vergleichbaren Bedingungen). Bei gleichhäufigen Superkontexten entscheidet die zufällige Anordnung des Zeichenkollektivs über die Reihenfolge der Detektion. Da nach jeder Detektion sofort eine Extraktion des eben erkannten Superkontextes erfolgt und dadurch eine Modifikation der Wahrscheinlichkeitsstruktur des Residualkollektivs eintritt (vgl. dazu Gleichungen (21), (22), (23) und (25)) ist eine gleichzeitige (= im gleichen Versuchsstadium der Simulation stattfindende) Detektion gleichhäufiger Superkontexte nicht notwendig gegeben, zumal in den Residualkollektiven die für die Detektion bedeutsamen geringeren Wahrscheinlichkeiten erhöht werden. Daraus folgt,

Abbildung 10

Ausschnitt aus der Detektions-Konfidenz-Supermatrix
- Invarianz der Detektionskennwerte gegenüber Kon-
fidenzverschiebungen

.9668	27	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.9674	28	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.9678	29	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.9682	30	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

DETEKTIONS-KONFIDENZMATRIX FUER SUPERKONTEXT 22

KONFIDENZ		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
.3710	1	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.4373	2	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.4999	3	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.5582	4	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.6121	5	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.6613	6	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.7058	7	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.7457	8	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.7812	9	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.8122	10	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.8393	11	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.8626	12	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.8823	13	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.8992	14	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.9131	15	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.9246	16	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.9341	17	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.9418	18	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.9480	19	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.9529	20	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.9567	21	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.9596	22	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.9620	23	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.9637	24	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.9651	25	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.9662	26	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.9668	27	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.9674	28	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.9678	29	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.9682	30	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

DETEKTIONS-KONFIDENZMATRIX FUER SUPERKONTEXT 11

KONFIDENZ		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
.3710	1	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0
.4373	2	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0
.4999	3	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0
.5582	4	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0
.6121	5	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0
.6613	6	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0

daß bei gleichhäufigen Superkontexten die Reihenfolge des Inputs im Simulationsmodell mit der Reihenfolge der Detektion zusammenhängt. Bringt man alle Superkontexte eines Kollektivs in eine Rangfolge nach ihrer Auftrittswahrscheinlichkeit, so dürfte damit die Gewähr gegeben sein, daß durch diese Rangfolge auch die Rangordnung der Detektion gegeben ist.

Bringt man die Wahrscheinlichkeitsrangordnung der Superkontexte in Zusammenhang mit dem Versuchsstadium ihrer Detektion, so sollte man monoton steigende Detektionskennlinien für die einzelnen Strukturvarianten erhalten.

Sowohl durch die jeweilige Modifikation der Initialentropie als auch durch die Variation der Größe IC wird die Detektionskennlinie einer Strukturvariante verändert. Auf die Art dieser Veränderung ist später noch ausführlicher einzugehen. Der Schwankungsbereich dieser Veränderungen soll jedoch in diesem Abschnitt zur Diskussion stehen. Er sei als Detektionsbereich einer Strukturvariante bezeichnet und definiert durch die Fläche, die von den beiden extremsten Detektionslinien einer Variante eingeschlossen wird.

In den Tabellen 3 - 5 sind die Detektionskennwerte (= Versuchsstadium der Detektion) der Superkontexte in Abhängigkeit von der kritischen Informationsdistanz IC und der Initialentropie für die Strukturvarianten aufgeführt. EIE bedeutet dabei reduzierte Initialentropie (= erhöhte Wahrscheinlichkeitskonzentration im Initialkollektiv), NIE erhöhte Initialentropie (= nivellierete Wahrscheinlichkeitsstruktur im Initialkollektiv).

Wie aus diesen Tabellen ersichtlich ist, steigen im allgemeinen die Detektionskennwerte mit IC an. Bei einem Wert von $IC=6$ ist die Detektion in vielen Fällen bereits bei allen Superkontexten blockiert. Aus diesem Grunde soll zur graphischen Darstellung der Detektions-

Tabelle 3

Detektionskennwerte für Strukturtyp H

Variante :		.8000	.0400	.0400	.0400	.0400	.0400
Schlüssel:		31	21	22	11	12	13
IC=1	EIE	1	11	-	-	-	-
	NIE	1	10	-	-	-	-
	IE	1	10.5	41	41	41	41
IC=2	EIE	1	11	-	-	-	-
	NIE	1	10	-	-	-	-
IC=3	EIE	4	11	-	-	-	-
	NIE	3	10	-	-	-	-
IC=4	EIE	4	11	-	-	-	-
	NIE	3	10	-	-	-	-
IC=5	EIE	4	11	-	-	-	-
	NIE	3	10	-	-	-	-
	IE	3.5	10.5	41	41	41	41
IC=6	EIE	4	-	-	-	-	-
	NIE	3	-	-	-	-	-

Tabelle 3 (Fortsetzung)

Detektionskennwerte für Strukturtyp H

Variante:	.7000	.0600	.0600	.0600	.0600	.0600	
Schlüssel:	31	21	22	11	12	13	
IC=1	EIE	1	8	25	29	38	-
	NIE	1	6	23	28	38	-
	IE	1	7	24	28.5	38	41
IC=2	EIE	1	8	25	29	38	-
	NIE	1	6	23	28	38	-
IC=3	EIE	3	8	25	29	38	-
	NIE	2	6	23	28	38	-
IC=4	EIE	3	8	25	29	38	-
	NIE	2	6	23	28	38	-
IC=5	EIE	3	8	25	29	38	-
	NIE	2	6	23	28	38	-
	IE	2.5	7	24	28.5	38	41
IC=6	EIE	3	-	-	-	-	-
	NIE	11	-	-	-	-	-

Tabelle 3 (Fortsetzung)

Detektionskennwerte für Strukturtyp H

Variante:		.6000	.0800	.0800	.0800	.0800	.0800
Schlüssel:		31	21	22	11	12	13
IC=1	EIE	1	6	14	16	20	31
	NIE	1	5	12	14	18	30
	IE	1	5.5	13	15	19	30.5
IC=2	EIE	1	6	14	16	20	31
	NIE	1	5	12	14	18	30
IC=3	EIE	3	6	14	16	20	31
	NIE	1	5	12	14	18	30
IC=4	EIE	3	6	14	16	20	31
	NIE	2	5	12	14	18	30
IC=5	EIE	3	6	14	16	20	31
	NIE	2	5	12	14	18	30
	IE	2.5	5.5	13	15	19	30.5
IC=6	EIE	-	-	-	-	-	-
	NIE	-	-	-	-	-	-

Tabelle 3 (Fortsetzung)

Detektionskennwerte für Strukturtyp H

Variante:	.5000	.1000	.1000	.1000	.1000	.1000
Schlüssel:	31	21	22	11	12	13
IC=1	EIE	1	5	9	10	12
	NIE	1	4	7	8	10
	IE	1	4.5	8	9	11
IC=2	EIE	1	5	9	10	12
	NIE	1	4	7	8	10
IC=3	EIE	3	5	9	10	12
	NIE	1	4	7	8	10
IC=4	EIE	3	5	9	10	12
	NIE	2	4	7	8	10
IC=5	EIE	3	5	9	10	-
	NIE	2	23	23	23	-
	IE	2.5	14	16	16.5	41
IC=6	EIE	-	-	-	-	-
	NIE	-	-	-	-	-

Tabelle 3 (Fortsetzung)

Detektionskennwerte für Strukturtyp H

Variante:	.4000	.1200	.1200	.1200	.1200	.1200
Schlüssel:	31	21	22	11	12	13
IC=1	EIE	2	4	7	7	8
	NIE	1	3	5	5	6
	IE	1.5	3.5	6	6	7
IC=2	EIE	2	4	7	7	8
	NIE	1	3	5	5	6
IC=3	EIE	2	4	7	7	8
	NIE	1	3	5	5	6
IC=4	EIE	3	4	7	7	8
	NIE	2	3	5	5	6
IC=5	EIE	3	4	7	-	-
	NIE	8	-	-	-	-
	IE	5.5	22.5	24	41	41
IC=6	EIE	-	-	-	-	-
	NIE	-	-	-	-	-

Tabelle 3 (Fortsetzung)

Detektionskennwerte für Strukturtyp H

Variante:	.3000	.1400	.1400	.1400	.1400	.1400
Schlüssel:	31	21	22	11	12	13
IC=1	EIE	2	4	5	5	7
	NIE	1	3	3	3	5
	IE	1.5	3.5	4	4	4.5
IC=2	EIE	2	4	5	5	7
	NIE	1	3	3	3	5
IC=3	EIE	2	4	5	5	7
	NIE	1	3	3	3	5
IC=4	EIE	3	4	5	5	7
	NIE	1	3	3	3	-
IC=5	EIE	3	-	-	-	-
	NIE	-	-	-	-	-
	IE	22	41	41	41	41
IC=6	EIE	-	-	-	-	-
	NIE	-	-	-	-	-

Tabelle 4

Detektionskennwerte für Strukturtyp E

Variante :	.8000	.0571	.0571	.0286	.0285	.0286
Schlüssel:	31	21	22	11	12	13
IC=1	EIE	1	8	-	-	-
	NIE	1	7	-	-	-
	IE	1	7.5	41	41	41
IC=2	EIE	1	8	-	-	-
	NIE	1	7	-	-	-
IC=3	EIE	4	8	-	-	-
	NIE	3	7	-	-	-
IC=4	EIE	4	8	-	-	-
	NIE	3	7	-	-	-
IC=5	EIE	4	8	-	-	-
	NIE	3	7	-	-	-
	IE	3.5	7.5	41	41	41
IC=6	EIE	4	18	-	-	-
	NIE	6	16	-	-	-

Tabelle 4 (Fortsetzung)

Detektionskennwerte für Strukturtyp E

Variante :	.7000	.0857	.0857	.0429	.0429	.0429
Schlüssel:	31	21	22	11	12	13
IC=1	EIE 1	6	18	-	-	-
	NIE 1	4	17	-	-	-
	IE 1	5	17.5	41	41	41
IC=2	EIE 1	6	18	-	-	-
	NIE 1	4	17	-	-	-
IC=3	EIE 3	6	18	-	-	-
	NIE 2	4	17	-	-	-
IC=4	EIE 3	6	18	-	-	-
	NIE 2	4	17	-	-	-
IC=5	EIE 3	6	18	-	-	-
	NIE 2	10	17	-	-	-
	IE 2.5	8	17.5	41	41	41
IC=6	EIE 6	12	29	-	-	-
	NIE 5	-	-	-	-	-

Tabelle 4 (Fortsetzung)

Detektionskennwerte für Strukturtyp E

Variante :		.6000	.1143	.1143	.0571	.0571	.0571
Schlüssel:		31	21	22	11	12	13
IC=1	EIE	1	5	10	25	-	-
	NIE	1	3	9	24	-	-
	IE	1	4	9.5	24.5	41	41
IC=2	EIE	1	5	10	25	-	-
	NIE	1	3	9	24	-	-
IC=3	EIE	3	5	10	25	-	-
	NIE	1	3	9	24	-	-
IC=4	EIE	3	5	10	25	-	-
	NIE	2	3	9	24	-	-
IC=5	EIE	3	9	10	25	-	-
	NIE	4	7	14	24	-	-
	IE	3.5	8	12	24.5	41	41
IC=6	EIE	5	-	-	-	-	-
	NIE	6	-	-	-	-	-

Tabelle 4 (Fortsetzung)

Detektionskennwerte für Strukturtyp E

Variante :	.5000	.01429	.1429	.0714	.0714	.0714	
Schlüssel:	31	21	22	11	12	13	
IC=1	EIE	1	4	7	15	25	-
	NIE	1	3	5	13	24	-
	IE	1	3.5	6	14	24.5	41
IC=2	EIE	1	4	7	15	25	-
	NIE	1	3	5	13	24	-
IC=3	EIE	3	4	7	15	25	-
	NIE	1	3	5	13	24	-
IC=4	EIE	3	4	7	15	25	-
	NIE	2	3	5	13	24	-
IC=5	EIE	3	7	10	15	25	-
	NIE	4	6	8	13	24	-
	IE	3.5	6.5	9	14	29.5	41
IC=6	EIE	--	-	-	-	-	-
	NIE	-	-	-	-	-	-

Tabelle 4 (Fortsetzung)
Detektionswerte für Strukturtyp E

Variante :	.4000	.1714	.1714	.0857	.0857	.0857
Schlüssel:	31	21	22	11	12	13
IC=1	EIE	1	2	4	9	17
	NIE	2	3	4	5	10
	IE	1.5	2,5	4	7	13.5
IC=2	EIE	1	2	4	9	17
	NIE	2	3	4	5	10
IC=3	EIE	1	2	4	9	17
	NIE	2	3	4	5	10
IC=4	EIE	2	2	4	9	17
	NIE	3	3	4	5	10
IC=5	EIE	5	6	6	9	17
	NIE	4	6	9	24	31
	IE	4.5	6	7.5	16.5	24
IC=6	EIE	-	-	-	-	-
	NIE	-	-	-	-	-

Tabelle 4 (Fortsetzung)
Detektionskennwerte für Strukturtyp E

Variante :	.3000	.2000	.2000	.1000	.1000	.1000
Schlüssel:	31	21	22	11	12	13
IC=1	EIE	1	2	3	6	12
	NIE	2	3	3	4	7
	IE	1.5	2.5	3	5	9.5
IC=2	EIE	1	2	3	6	12
	NIE	2	3	3	4	7
IC=3	EIE	1	2	3	6	12
	NIE	2	3	3	4	7
IC=4	EIE	2	2	4	6	12
	NIE	3	3	3	15	20
IC=5	EIE	5	5	5	-	-
	NIE	5	5	9	-	-
	IE	5	5	7	41	41
IC=6	EIE	-	-	-	-	-
	NIE	-	-	-	-	-

Tabelle 5

Detektionskennwerte für Strukturtyp K

Variante :	.8000	.0667	.0533	.0400	.0267	.0133
Schlüssel:	31	21	22	11	12	13
IC=1	EIE	2	10	-	-	-
	NIE	1	6	-	-	-
	IE	1.5	8	41	41	41
IC=2	EIE	2	10	-	-	-
	NIE	1	6	-	-	-
IC=3	EIE	2	10	-	-	-
	NIE	3	6	-	-	-
IC=4	EIE	5	10	-	-	-
	NIE	3	6	-	-	-
IC=5	EIE	5	10	-	-	-
	NIE	3	7	-	-	-
	IE	4	8.5	41	41	41
IC=6	EIE	5	-	-	-	-
	NIE	4	30	-	-	-

Tabelle 5 (Fortsetzung)

Detektionskennwerte für Strukturtyp K

Variante :	.7000	.1000	.0800	.0600	.0400	.0200
Schlüssel:	31	21	22	11	12	13
IC=1	EIE	3	7	22	-	-
	NIE	1	4	19	39	-
	IE	2	5.5	20.5	40	41
IC=2	EIE	3	7	22	-	-
	NIE	1	4	19	39	-
IC=3	EIE	3	7	22	-	-
	NIE	2	4	19	39	-
IC=4	EIE	4	7	22	-	-
	NIE	2	4	19	39	-
IC=5	EIE	4	9	22	-	-
	NIE	2	8	19	39	-
	IE	3	8.5	20.5	40	41
IC=6	EIE	7	29	-	-	-
	NIE	10	19	-	-	-

Tabelle 5 (Fortsetzung)

Detektionskennwerte für Strukturtyp K

Variante :	.6000	.1333	.1067	.0800	.0533	.0267
Schlüssel:	31	21	22	11	12	13
IC=1	EIE	3	5	12	24	-
	NIE	1	3	9	19	-
	IE	2	4	10.5	21.5	41
IC=2	EIE	3	5	12	24	-
	NIE	1	3	9	19	-
IC=3	EIE	3	5	12	24	-
	NIE	1	3	9	19	-
IC=4	EIE	4	5	12	24	-
	NIE	2	3	9	19	-
IC=5	EIE	4	11	12	24	-
	NIE	3	7	9	19	-
	IE	3.5	9	10.5	21.5	41
IC=6	EIE	10	-	-	-	-
	NIE	9	-	-	-	-

Tabelle 5 (Fortsetzung)

Detektionskennwerte für Strukturtyp K

Variante :	.5000	.1667	.1333	.1000	.0667	.0333	
Schlüssel:	31	21	22	11	12	13	
IC=1	EIE	1	3	7	12	31	-
	NIE	2	3	5	7	23	-
	IE	1.5	3	6	9.5	27	41
IC=2	EIE	1	3	7	12	31	-
	NIE	2	3	5	7	23	-
IC=3	EIE	2	3	7	12	31	-
	NIE	2	3	5	7	23	-
IC=4	EIE	2	3	7	12	31	-
	NIE	2	3	5	7	23	-
IC=5	EIE	3	6	10	12	31	-
	NIE	4	11	14	-	-	-
	IE	3.5	8.5	12	26.5	36	41
IC=6	EIE	25	33	-	-	-	-
	NIE	24	33	-	-	-	-

Tabelle 5 (Fortsetzung)
Detektionskennwerte für Strukturtyp K

Variante :	.4000	.2000	.1600	.1200	.0800	.0400
Schlüssel:	31	21	22	11	12	13
IC=1	EIE	1	2	4	7	20
	NIE	2	3	4	5	13
	IE	1.5	2.5	4	6	16.5
IC=2	EIE	1	2	4	7	20
	NIE	2	3	4	5	13
IC=3	EIE	1	2	4	7	20
	NIE	2	3	4	5	13
IC=4	EIE	2	3	4	7	20
	NIE	3	3	4	5	13
IC=5	EIE	5	10	12	14	20
	NIE	9	10	12	39	-
	IE	7	10	12	26.5	30.5
IC=6	EIE	26	28	35	39	-
	NIE	26	28	35	39	-

Tabelle 5 (Fortsetzung)

Detektionskennwerte für Strukturtyp K

Variante :	.3000	.2333	.1867	.1400	.0933	.041
Schlüssel:	31	21	22	11	12	13
IC=1	EIE	1	2	3	5	13
	NIE	2	2	3	3	8
	IE	1.5	2	3	4	10.5
IC=2	EIE	1	2	3	5	13
	NIE	2	2	3	3	8
IC=3	EIE	1	2	3	5	13
	NIE	2	2	3	3	8
IC=4	EIE	3	3	4	5	13
	NIE	3	3	4	6	8
IC=5	EIE	10	10	10	25	35
	NIE	10	10	10	25	35
	IE	10	10	10	25	35
IC=6	EIE	29	29	29	-	-
	NIE	29	29	29	-	-

bereiche für die einzelnen Strukturvarianten nur ein IC-Bereich von 1-5 herangezogen werden (Darstellungen in Abb. 11 - 28). Die untere Grenze des Detektionsbereichs wird dann festgelegt durch die Detektionskennlinie in der Zeile $IC=1$ mit den niedrigsten Detektionskennwerten, die obere Grenze durch die Detektionskennlinie in der Zeile $IC= 5$ mit den höchsten Detektionskennwerten. Die durch die Variation des Initialkollektivs hervorgerufenen Verschiebungen werden für die IC-Rubriken jeweils gemittelt (IE).

Wird ein Superkontext und damit auch die folgenden nicht mehr detektiert, so verläuft die Detektionskennlinie vertikal nach oben. Der in der oben angegebenen Weise definierte Detektionsbereich wird unendlich groß.

In den Abb. 11-28 ist für jede Strukturvariante der Detektionsbereich graphisch veranschaulicht. Dabei wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit die an sich adäquate Säulendarstellung der einzelnen Detektionskennwerte durch eine kontinuierliche Verlaufskurve ersetzt. Die Abszissen dieser Kurven repräsentieren die erwähnten Input (-bzw. Detektions-)rangfolgen. Die untere Grenze des Detektionsbereiches erscheint gestrichelt, die obere Grenze durchgezogen. Die Fläche unter der unteren Grenze des Detektionsbereiches kann als Maß für die "Detektionswiderstände" einer Strukturvariante unter günstigsten theoretischen Bedingungen gelten, die Fläche unter der oberen als Maß für den Detektionswiderstand unter ungünstigsten theoretischen Bedingungen. Die "theoretischen Bedingungen" werden im vorliegenden Modell im wesentlichen durch den Parameter IC simuliert.

Wie aus Kapitel VI/4 des 2. Teils hervorgeht, ist die Größe IC bei einem in seiner Struktur festliegenden Zeichenkollektiv dazu geeignet, Unzulänglichkeiten der konkreten Simulation (Modelle A-F) zu kompensieren. Würde ein ideales Detektionsmodell vorliegen,

Abbildungen 11 - 28

Detektionsbereiche der Strukturvarianten

————— obere Grenze des Detektion-
 bereiches
 - - - - - untere Grenze des Detektion-
 bereiches

Ordinate: Versuchsstadium IM

Abszisse: Rangfolge der Superkontexte

Abb. 11 , Strukturvariante H / .8000

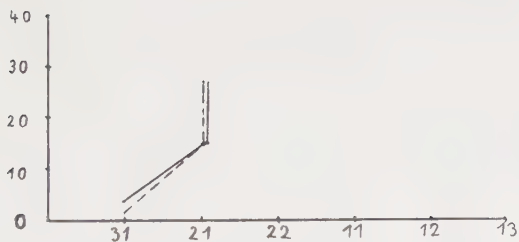


Abb. 12 , Strukturvariante E / .8000

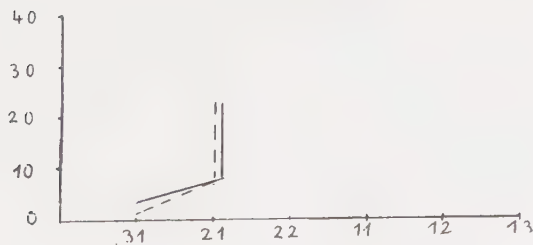


Abb. 13 Strukturvariante K / .8000

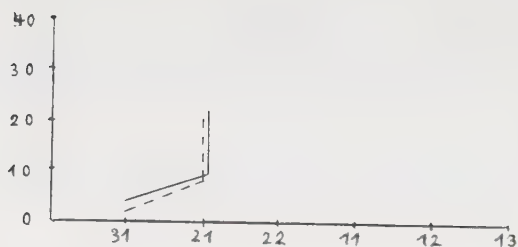


Abb. 14 Strukturvariante H / .7000

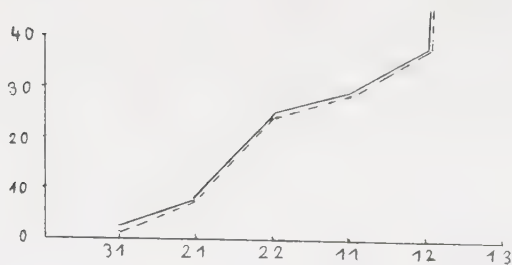


Abb. 15 Strukturvariante E / .7000

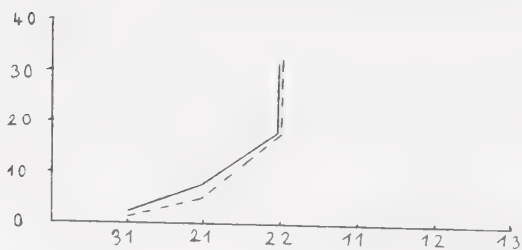


Abb. 16 Strukturvariante K / .7000

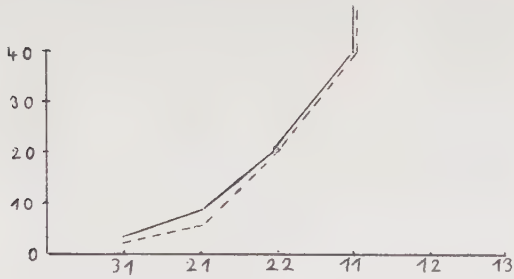


Abb. 17 Strukturvariante H / .6000

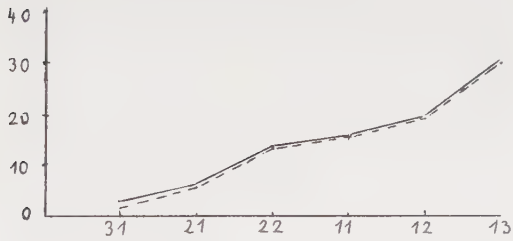


Abb. 18 Strukturvariante E / .6000

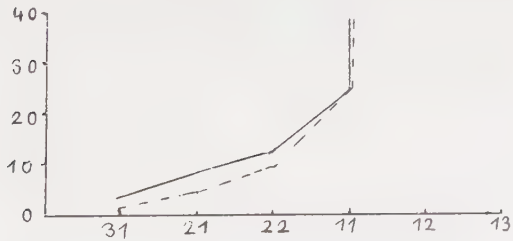


Abb. 19 Strukturvariante K / .6000

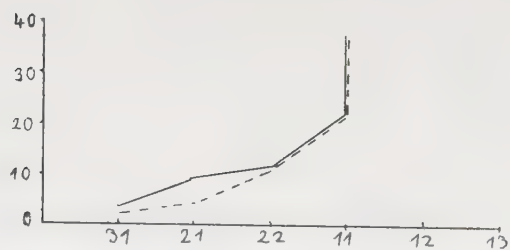


Abb. 20 Strukturvariante H / .5000

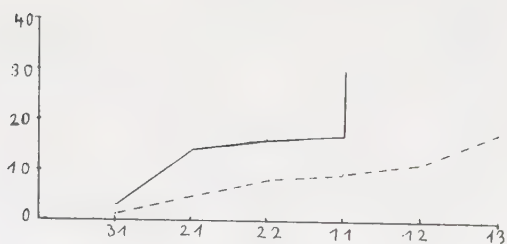


Abb. 24 Strukturvariante E / .5000

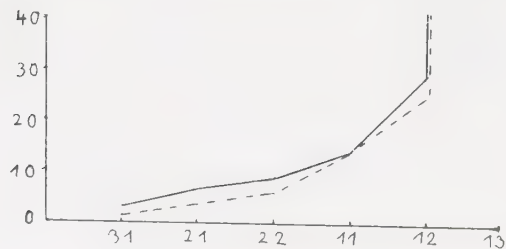


Abb. 22 Strukturvariante K / .5000

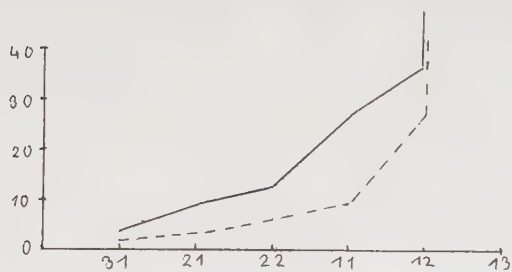


Abb. 23 Strukturvariante H / .4000

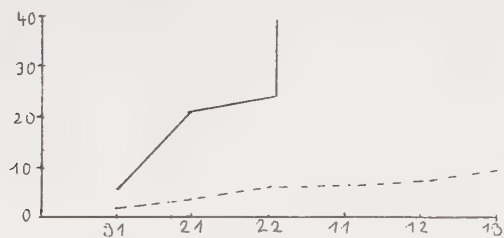


Abb. 24 Strukturvariante E / .4000

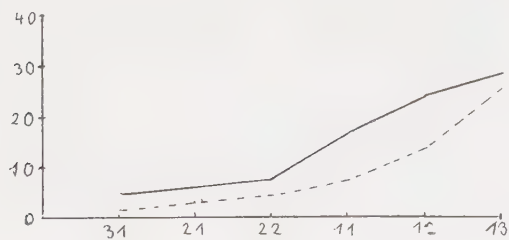


Abb. 25 Strukturvariante K / .4000

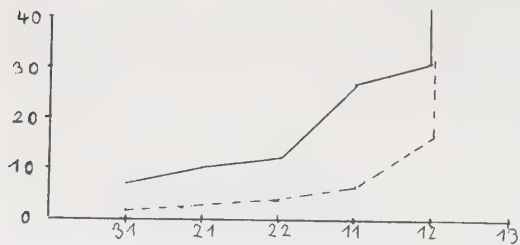


Abb. 26 Strukturvariante H / .3000

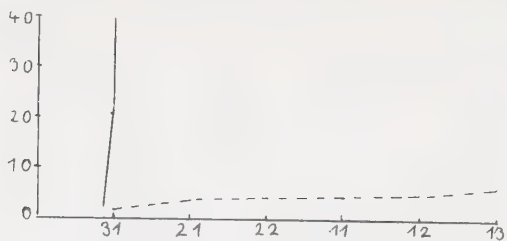


Abb. 27 Strukturvariante E / .3000

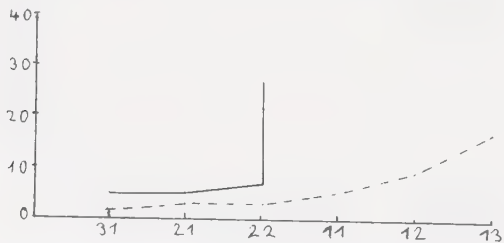
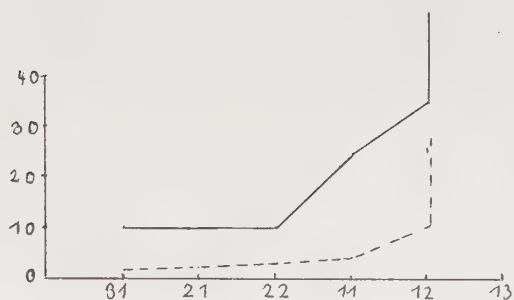


Abb. 28 Strukturvariante K / .3000



so wäre IC ein direkt auf das gerade vorliegende Zeichenkollektiv bezogener, genauer gesagt ein von der Detektions s c h w i e r i g k e i t des vorliegenden Zeichenkollektivs abhängiger Parameter. Es ist leicht einzusehen, daß die Detektionskennwerte von einander in irgendeiner Weise ähnlichen Superzeichen wahrscheinlich höher liegen werden als die Kennwerte maximal unähnlicher Kontexte. Im erstem Fall wäre dann auch ein empirisch gefundener IC-Wert größer als im letzteren.

Überträgt man diese Vorstellungen auf unser idealisiertes Modell PROGNOSE, so finden sie zunächst Bestätigung durch die Tatsache, daß mit zunehmendem Detektionswiderstand einer Strukturvariante eine Vergrößerung von IC parallel geht. Aus den Detektionsgraphen sind in diesem Zusammenhang folgende weitere Tendenzen abzulesen :

Der Detektionswiderstand aller Strukturtypen (H, E und K) unter günstigen theoretischen Bedingungen (kleines IC) vermindert sich mit zunehmender Entropie des Gesamtkollektivs. Unter ungünstigen theoretischen Bedingungen (großes IC) senkt er sich zunächst mit zunehmender Entropie des Gesamtkollektivs, steigt aber nach Erreichen eines Minimums wieder an.

Diese zunächst aus der Anschauung ableitbaren Zusammenhänge werden numerisch präzisiert, indem für die einzelnen Strukturvarianten die Flächen unter den Detektionskennlinien ausgezählt werden. Als Flächeneinheiten dienen die für die jeweiligen Detektionen notwendigen Versuchsstadien. Wird ein Superkontext nicht detektiert, so wird aus Vereinfachungsgründen sein Detektionskennwert auf die Grenze von 41 Versuchsstadien festgelegt (40 Versuchsstadien umfaßt der Simulationsbereich!) (vgl. Tab. 6).

Darstellung 23 zeigt für die drei Strukturtypen den Zusammenhang von Detektionswiderständen und Detektions-

Tabelle 6

Maximale und minimale Detektionswiderstände
und Detektionsbereiche für alle Strukturvarianten

Typ	Variante					
	.8000	.7000	.6000	.5000	.4000	.3000
H						
DW _{max}	178.0	141.0	85.5	131.0	175.0	227.0
DW _{min}	175.5	139.5	84.0	50.5	33.5	23.5
DB	2.5	1.5	1.5	80.5	141.5	203.5

Typ						
E						
DW _{max}	175.0	151.0	130.0	98.5	87.0	140.0
DW _{min}	172.5	146.5	121.0	90.0	54.0	38.0
DB	2.5	4.5	9.0	8.5	33.0	102.0

Typ						
Z						
DW _{max}	176.5	154.0	126.5	127.5	120.0	131.0
DW _{min}	173.5	150.0	120.0	88.0	71.5	62.0
DB	3.0	4.0	6.5	39.5	48.5	69.0

Darstellung 29

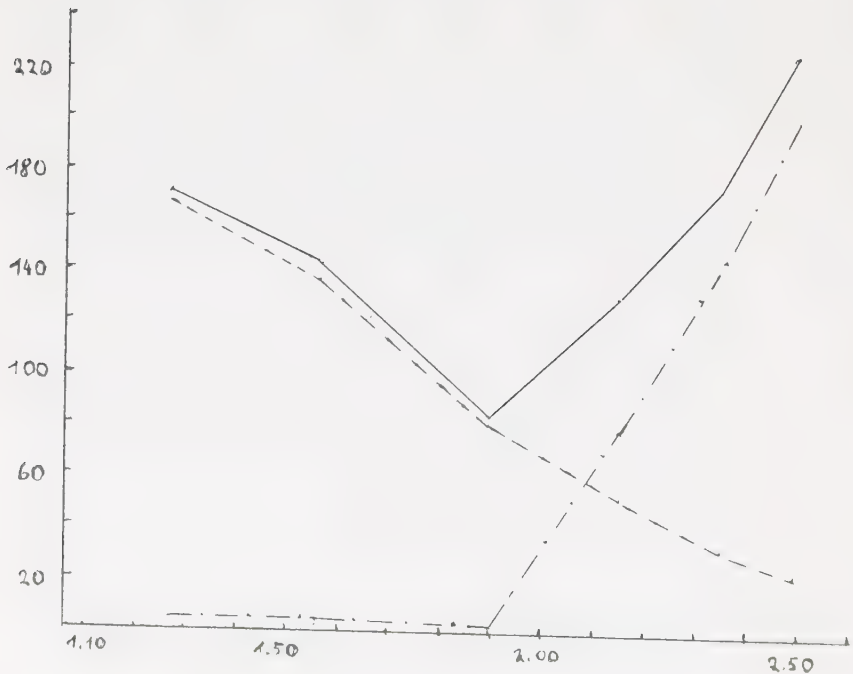
Detektionswiderstände und Detektionsbereiche
für die Strukturtypen in Abhängigkeit von
der Entropie

Ordinate : Detektionsfläche

Abszisse : Entropiewerte

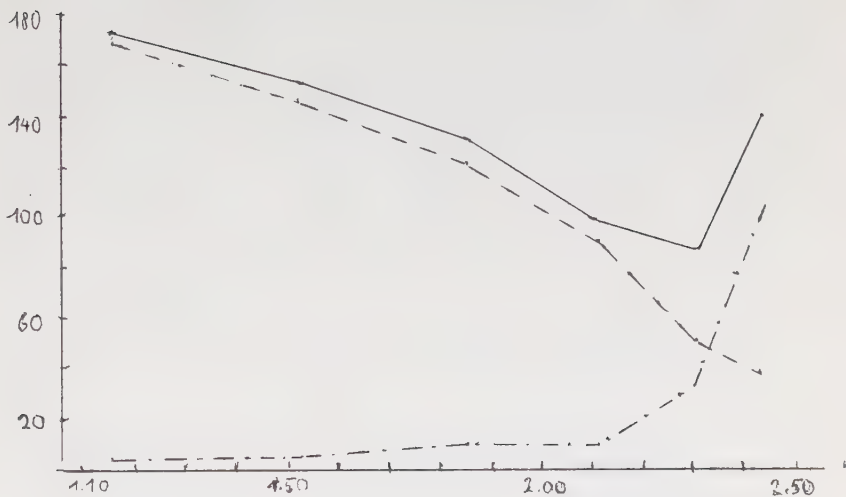
— $DW_{\max}$
- - - $DW_{\min}$
- . . - . . - . . - DB

Strukturtyp H

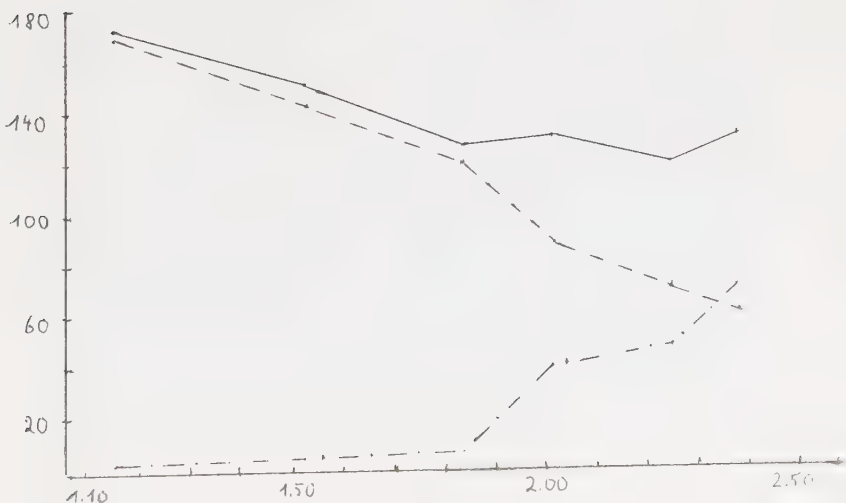


Darstellung 29 (Fortsetzung)

Strukturtyp E



Strukturtyp K



bereich in Abhängigkeit von der Kollektiventropie.

Zur theoretischen Analyse dieser Kurvenverläufe ist eine Konfrontation mit den Detektionsgrundannahmen von Nutzen : Die Detektionswahrscheinlichkeit eines Superkontextes steigt an mit der Wahrscheinlichkeit seines Auftretens und mit der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von kontrastierenden (=seltenen) Nachfolgern. Bei geringer Entropie und hoher Wahrscheinlichkeitskonzentration des Gesamtkollektivs ist diese doppelte Bedingung nur für das häufigste Superzeichen erfüllt. Der Detektionswiderstand des Gesamtkollektivs liegt deshalb sehr hoch. Dies gilt in gleichem Maße für den maximalen wie für den minimalen Detektionswiderstand, da offenbar die Variation der theoretischen Detektionsbedingungen für die häufigsten Superkontexte außerhalb des kritischen Bereichs stattfindet.

Mit zunehmender Entropie des Gesamtkollektivs, einhergehend mit einer zunehmenden Nivellierung der Wahrscheinlichkeitsstruktur in Richtung Gleichverteilung, senken sich maximaler und minimaler Detektionswiderstand zunächst gleichsinnig.

Der Detektionsbereich aller Strukturtypen vergrößert sich mit zunehmender Entropie des Gesamtkollektivs. Wird ein Punkt erreicht, an dem die seltenen Superkontexte des Kollektivs sich soweit der idealen Gleichverteilung angenähert haben, daß ihre Kontrastwirkung der zweiten Detektionsbedingung ("Kontrastbedingung") nicht mehr ausreichend (d.h. bei immer weniger der selteneren Superkontexte) genügt, so erhöht sich der Detektionswiderstand für das Gesamtkollektiv und zwar zunächst unter den ungünstigen theoretischen Bedingungen. Für die günstigsten theoretischen Bedingungen wurde ein solcher Wendepunkt im vorliegenden Simulationsbereich nicht gefunden. Zur Klärung dieses Falls wurde daher der Simulationsbereich nur für Strukturtyp E erweitert auf die Varianten $P_{31} = 0.2500(0.2300)$. Aus den ent-

sprechenden Tabellen (7-9) ist zu entnehmen, daß sich der minimale Detektionswiderstand bis zur Wahrscheinlichkeitsgleichverteilung weiter senkt, der maximale weiterhin ansteigt. Es ist zu vermuten, daß bei Konstanthalten des Strukturtyps und Erhöhung der Anzahl der Superkontexte auch der minimale Detektionswiderstand zu einem Wendepunkt gelangt. Eine diesbezügliche Erweiterung des Simulationsbereiches würde jedoch die geforderten Simulationsbeschränkungen überschreiten und soll daher unterbleiben.

Durch das Auseinanderlaufen der Detektionswiderstände mit zunehmender Kollektiventropie wird das Anwachsen des Detektionsbereichs bestimmt.

Sucht man nach einer empirisch-psychologischen Interpretation der eben dargelegten Zusammenhänge, so bietet sich dazu wieder die oben erläuterte Gleichsetzung der Größe IC mit einem detektionsbezogenen Schwierigkeitsindex an. Unter Schwierigkeit der Detektion ist, wie bereits angedeutet, eine Eigenschaft des Zeichenkollektivs zu verstehen, die über die Wahrscheinlichkeitsstruktur der Superkontexte hinausgeht, die also durch die Simulation nicht direkt erfaßt wird. Empirische Manifestationen dieses Schwierigkeitsbegriffs könnten beispielsweise sein : die Länge der Superkontexte in Elementareinheiten (die im Simulationsvorgang konstant gehalten wurde), die Verwechselbarkeit der Superkontexte, die Anzahl der verschiedenen Superzeichen bzw. der verschiedenen Elementareinheiten usw.

Die Grundannahmen des Detektionsmodells und ihre Expansion im Simulationsmodell wurden dann, bei Zugrundelegung einer solchen empirischen Interpretation von IC ohne weitere aus empirischen Fakten abgeleitete Zusatzannahmen folgende Aussagen implizieren :

- a) Bei geringer Schwierigkeit eines Zeichenkollektivs beschleunigt sich der Detektionsvorgang mit zunehmen-

Tabelle 7

Detektionskennwerte für Strukturtyp E

Variante :	.2500	.2143	.2143	.1071	.1071	.1071
Schlüssel:	31	21	22	11	12	13
IC=1	EIE	1	2	2	5	10
	NIE	3	3	3	3	5
	IE	2	2.5	2.5	4	7.5
IC=2	EIE	1	2	2	5	10
	NIE	3	3	3	3	5
IC=3	EIE	1	2	2	5	10
	NIE	3	3	3	3	5
IC=4	EIE	3	4	4	5	10
	NIE	3	3	3	12	17
IC=5	IE	6	6	6	-	-
	NIE	6	6	-	-	-
	IE	6	6	23.5	41	41
IC=6	EIE	-	-	-	-	-
	NIE	-	-	-	-	-

Tabelle 8

Detektionskennwerte für Stukturtyp E

Variante :	.2300	.2200	.2200	.1100	.1100	.100
Schlüssel:	31	21	22	11	12	13
IC=1	EIE	1	2	2	5	9
	NIE	3	3	3	3	5
	IE	2	2.5	2.5	4	7
IC=2	EIE	1	2	2	5	9
	NIE	3	3	3	3	5
	IE	2	2.5	2.5	4	7
IC=3	EIE	1	2	2	5	9
	NIE	3	3	3	3	5
	IE	2	2.5	2.5	4	7
IC=4	EIE	3	5	5	5	9
	NIE	3	3	3	11	15
	IE	2	2.5	2.5	4	7
IC=5	EIE	6	6	-	-	-
	NIE	6	6	-	-	-
	IE	6	6	41	41	41
IC=6	EIE	-	-	-	-	-
	NIE	-	-	-	-	-
	IE	-	-	-	-	-

Tabelle 9

Detektionswiderstände für die Strukturvarianten
E/.2500 und E/.2300

Typ E	Variante	.2500	.2300
	DW _{max}	158.5	176.0
	DW _{min}	31.5	32.0
	DB	127.0	145.0

Tabelle 10

Entropiedifferenzen der Strukturvarianten

Variante	Differenz H - E	Differenz E - K
.8000	+.0135	+.0217
.7000	+.0231	+.0285
.6000	+.0375	+.0321
.5000	+.0459	+.0409
.4000	+.0509	+.0528
.3000	+.0601	+.0603

der Entropie der Superstruktur.

- b) Erhöht sich die Schwierigkeit eines Zeichenkollektivs (z.B. zunehmende Ähnlichkeit der Superkontexte), so existiert speziell für dieses Kollektiv ein Entropiegrad, von dem an mit zunehmender Entropie der Superstruktur eine Verzögerung der Detektion eintritt.
- c) Je geringer die Entropie der Superstruktur eines Zeichenkollektivs ist, desto weniger wird die Schwierigkeit des Kollektivs die Detektionsleistung modifizieren.

b) Detektionsbereiche und Detektionswiderstände in Abhängigkeit von den Strukturtypen H, E und K

Wie aus der Zusammenstellung der Entropiewerte für die einzelnen Varianten (Tab.2) hervorgeht, liegt die Entropie des Gesamtkollektivs gleicher Varianten (=gleicher Wahrscheinlichkeiten für P_{31}) für verschiedene Strukturtypen verschieden hoch. Die Rangfolge ist dabei generell $H - E - K$. In Tabelle 10 sind die Entropiedifferenzen für die beiden aufeinanderfolgenden Paare in Abhängigkeit von den Varianten zusammengestellt.

Denkt man sich den Entropiegehalt eines der verwendeten Kollektive aufgeteilt in jenen, der durch die Wahrscheinlichkeitskonzentration auf den Superkontext S_{31} verursacht wird und in jenen, der durch eine Wahrscheinlichkeitskonzentration im Restkollektiv zustande kommt, so kann die Differenz zwischen den Gesamtentropien zweier Strukturtypen mit gleicher Wahrscheinlichkeitskonzentration hinsichtlich S_{31} (= gleiche Varianten) als Maß für den Unterschied beider Typen bezüglich der Wahrscheinlichkeitskonzentration des Restkollektivs betrachtet werden.

Ergibt sich beispielsweise eine positive Differenz zwischen den Strukturtypen H und E (bei gleichem P_{31})

zugunsten von H, so muß daraus geschlossen werden, daß das Restkollektiv von E im Vergleich mit H eine höhere Wahrscheinlichkeitskonzentration besitzt.

Daraus läßt sich folgern, daß die Rangfolge $K - E - H$ für die Wahrscheinlichkeitskonzentration des Restkollektivs bei allen Varianten gilt. Aus Tabelle 10 ist zu entnehmen, daß diese Rangfolge bei zunehmender Gesamtentropie immer deutlicher hervortritt.

Stellt man die Detektionscharakteristika : maximaler bzw. minimaler Detektionswiderstand und Detektionsbereich der drei Strukturtypen H, E und K in Abhängigkeit vom Gesamtentropiegehalt einander gegenüber, wie es in den Darstellungen 30-32 geschah, so implizieren die Abszissenwerte dieser Darstellungen (P_{31}) mit der Rangfolge der Gesamtentropie auch zugleich die Rangfolge der Entropiedifferenzen $H-E$ und $E-K$. D.h. mit abnehmendem P_{31} -Wert auf der Abszisse ist eine zunehmende Entropieverschiedenheit der drei Strukturtypen in der Rangfolge $H - E - K$ verbunden, die ihrerseits wieder die zunehmende Strukturverschiedenheit des Restkollektivs bei allen drei Typen indiziert.

Aufgrund der Überlegungen im letzten Kapitel wäre zu erwarten, daß sich zunehmende Entropieverschiedenheiten im Gesamtkollektiv in besonders starkem Maße auf den maximalen Detektionswiderstand auswirken (entspricht hoher Schwierigkeit des Kollektivs). Dieser Effekt ist aus Darstellung 30 insbesondere bei Vergleich der Kurven H und K deutlich ersichtlich. Der Abstand zwischen H und K erreicht mit der Entropieverschiedenheit sein Maximum. Das gleiche gilt für die Kurven H und E.

Von allen drei Kurven zeigt K die geringste Variabilität, d.h. die geringste Empfindlichkeit gegen Entropieverschiebungen.

Abbildung 30

Maximaler Detektionswiderstand ($DW_{\max}$) in
Abhängigkeit von den Strukturtypen

—————	Strukturtyp	H
-----	Strukturtyp	E
-.-.-.-.-	Strukturtyp	K

Ordinate : Detektionsflächen

Abszisse : Entropiewerte (Rangfolge)

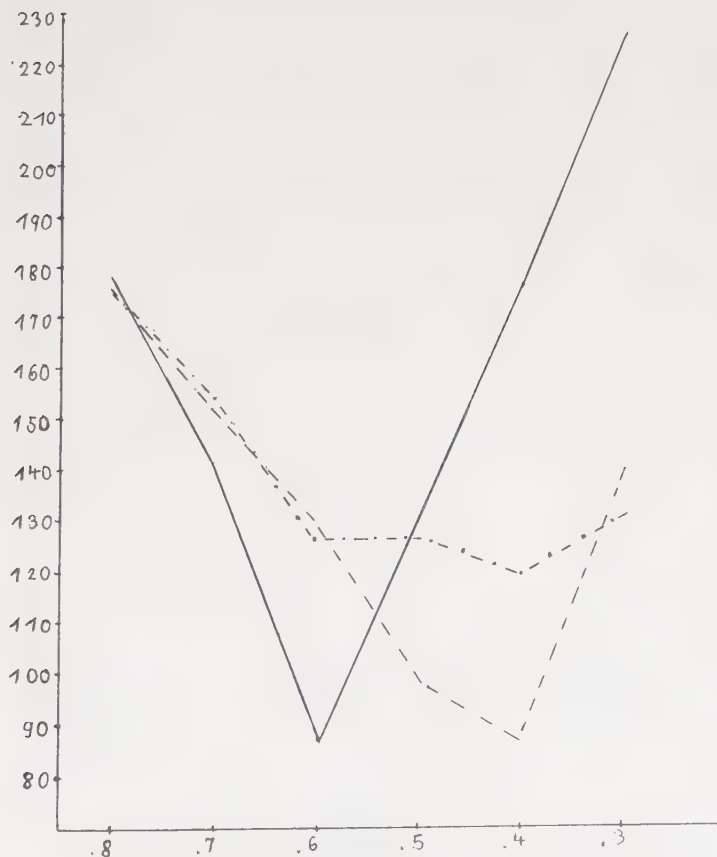


Abbildung 31

Minimaler Detektionswiderstand ($DW_{\min}$) in Abhängigkeit von den Strukturtypen

(vgl. Abb. 30)

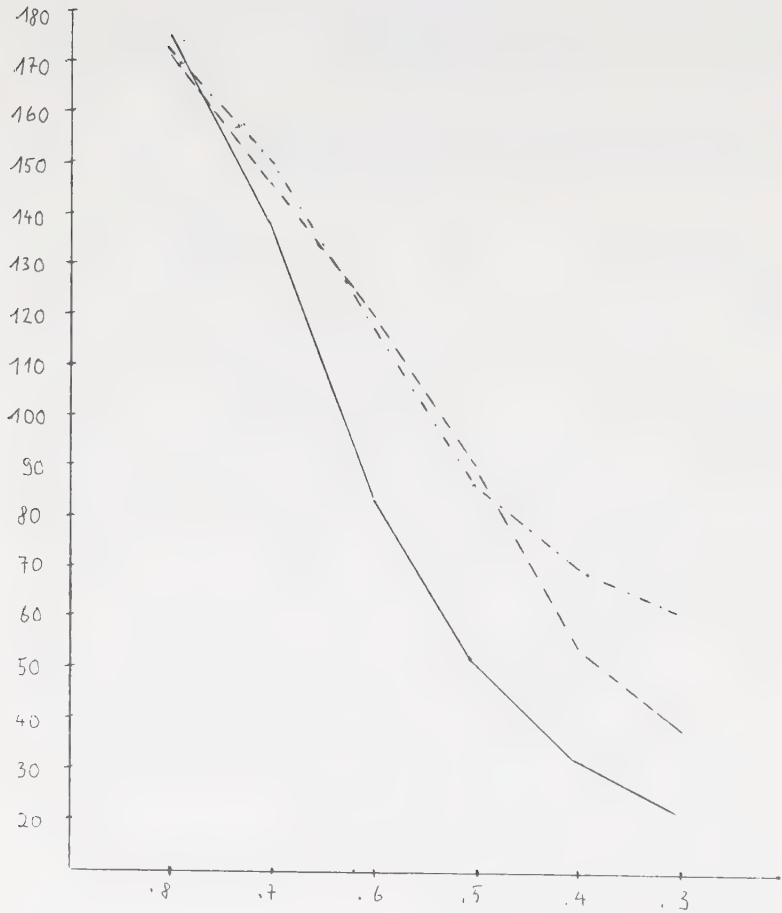
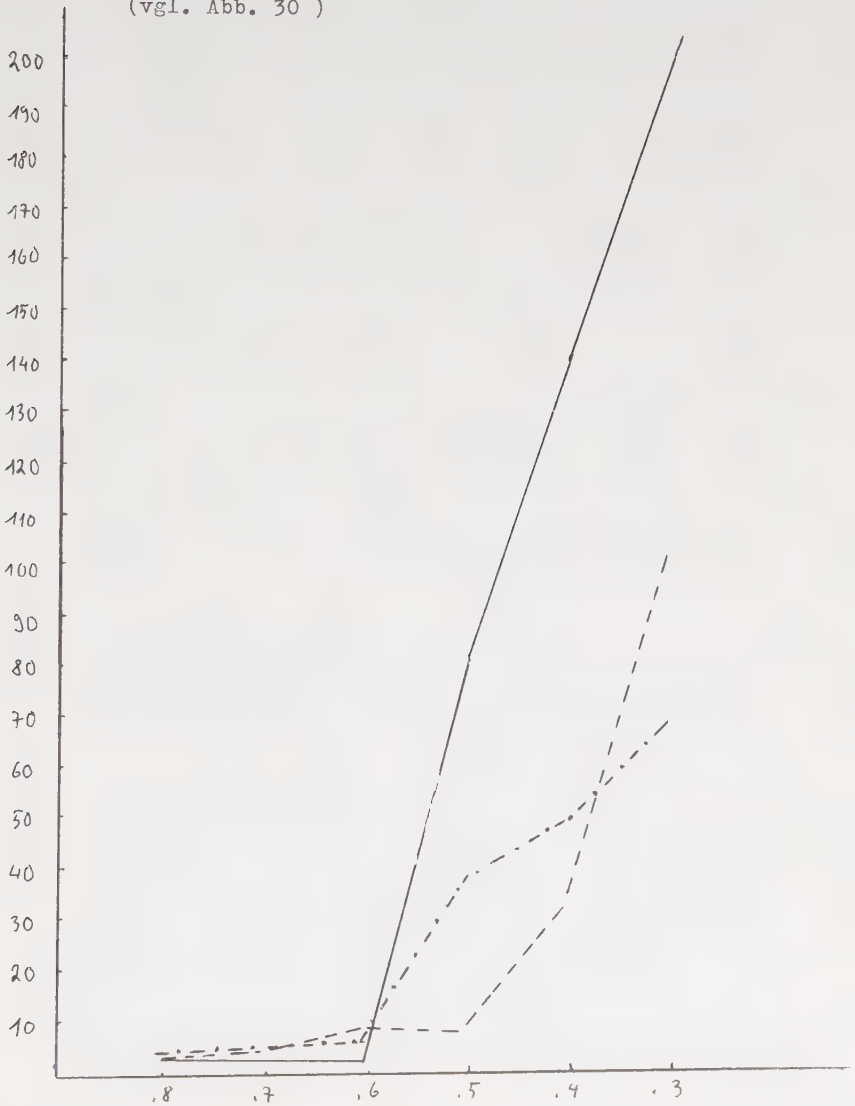


Abbildung 32

Detektionsbereich (DB) in Abhängigkeit von
den Strukturtypen

(vgl. Abb. 30)



Durch die Verläufe der Gesamtentropie allein läßt sich jedoch die Verschiedenheit der Kurven nicht ausreichend erklären. Dazu stelle man sich nur vor, daß die Kurve K um eine Abszisseneinheit nach links verschoben wäre. Das Kurvengesamtbild würde sich dadurch nur wenig verändern; andererseits würde aber nun allen Abszissenpunkten von K eine etwas höhere Entropie zuzuordnen sein als denen von H (vgl. dazu Tabelle 11).

Deshalb soll eine etwas differenziertere Analyse erfolgen :

Die den Kurven 30-32 zugrundegelegten Ordinatenwerte beziehen sich auf den gesamten Detektionsvorgang, also auf das gesamte Kollektiv. Würde man die Betrachtung einschränken auf das Restkollektiv (also ohne Superkontext 31), so würden sich dadurch hinsichtlich aller Detektionscharakteristika keine entscheidenden Verlaufsänderungen einstellen (wie aus den Tabellen 3 - 5 leicht geschlossen werden kann); d.h. der Verlauf der Detektion und mit ihm die Unterschiede zwischen den einzelnen Strukturtypen werden im wesentlichen durch die Konstellationen der jeweiligen Restkollektive determiniert.

Es ist leicht einzusehen, daß auch die Entropiewerte dieser Restkollektive (getrennt betrachtet) für die Kurvenabweichungen keine plausible Erklärungsgrundlage liefern können. Da nämlich die Entropien der Restkollektive des Typs H wegen ihrer idealen Homogenität in der Wahrscheinlichkeitsverteilung immer maximale Entropie besitzen und die Entropien des Restkollektivs der Strukturtypen E und K mit wachsender Gesamtentropie ebenfalls anwachsen, vermindern sich bezüglich der Restkollektive die Entropiedifferenzen der einzelnen Strukturtypen insbesondere im Vergleich zu H. Würde man eine Abhängigkeit der Kurvenverläufe von diesen Werten postulieren, so müßte man eher eine Angleichung der Kurven bei zunehmender Gesamtentropie

Tabelle 11

Vergleich der Detektionswiderstände von Typ H und K bei verschobenen Abszissenwerten

	Variante	.7000	.6000	.5000	.4000
H	Entropie	1.5777	1.8997	2.1610	2.3643
	DW _{max}	141	85.5	131	175
	DW _{max}	126.5	127.5	120	131
K	Entropie	1.8311	2.0742	2.2606	2.3862
	Variante	.6000	.5000	.4000	.3000

Tabelle 12

Variationskoeffizienten der Strukturvarianten

	Typ	H	E	K
Variante				
.8000		.2333	.2333	.2463
.7000		.2000	.1993	.2000
.6000		.1667	.1667	.1667
.5000		.1333	.1333	.1333
.4000		.1000	.1000	.1000
.3000		.0667	.0667	.0778

Tabelle 13

Variationskoeffizienten der Restkollektive für alle Strukturvarianten

	Typ	H	E	K
Variante				
.8000		0	.0137	.0400
.7000		0	.0205	.0600
.6000		0	.0275	.0800
.5000		0	.0343	1.0000
.4000		0	.0411	1.2000
.3000		0	.0480	1.4000

erwarten.

Weder die Differenzen der Gesamtentropien, noch die der Restentropien vermögen also den gefundenen Abweichungen der Kurven H, E und K gerecht zu werden.

Da sich die Strukturtypen per definitionem in der Variation ihrer Wahrscheinlichkeitsstruktur unterscheiden, wäre zu prüfen, ob andere Maße der Variation in Zusammenhang mit den gefundenen Kurvenverläufen zu bringen sind.

Als ein solches Maß bietet sich der Variationskoeffizient (= Mittelwert der absoluten Abweichungen vom arithmetischen Mittel) an. In den Tabellen 12 und 13 wurde dieses Maß für die Gesamt- und für die Restkollektive errechnet. Aus Tabelle 12 ist zunächst zu ersehen, daß der Variationskoeffizient von der Entropie nur teilabhängig ist. Die Strukturtypen H und E, die sich bezüglich der Entropie zugunsten von H durchgängig unterscheiden besitzen bei allen Strukturvarianten gleiche Variation. Typ K, der von allen Strukturtypen durchgängig die niedrigste Entropie hat, liegt im Durchschnitt seiner Variationskoeffizienten in dieser Tabelle sogar am höchsten.

An der stetigen Abnahme der Variationskoeffizienten bei größeren Entropieinkrementen (Spalten von 12) ist jedoch abzulesen, daß zwischen Entropie und Variationskoeffizient eine relativ hohe Korrelation zu erwarten wäre.

Tabelle 13 zeigt nun deutlich bei den Strukturtypen E und K einen Anstieg der Variationskoeffizienten des Restkollektivs mit zunehmender Gesamtentropie der Varianten. Dieser Anstieg ist bei K erheblich stärker ausgeprägt als bei E. Bei Strukturtyp H bleibt der Variationskoeffizient über alle Varianten auf 0 konstant.

Es scheint demnach so zu sein, daß die mit zunehmender Gesamtentropie von Kollektiven einhergehenden Veränderungen der Detektionscharakteristika dann nivelliert werden, wenn gleichzeitig eine Erhöhung der Variation(in den durch die Korrelation zwischen Entropie und Variation gesetzten Grenzen) einhergeht, wie bei K und in abgeschwächtem Maße auch bei E.

Dies legt es nahe, bei Detektionsprognosen die Variation der Kollektive gegenüber der Entropie zu bevorzugen. Eine solche Entscheidung kann jedoch aufgrund der vorliegenden Untersuchungen (bei nur partieller Modifikation der Simulationssituationen) nicht gefällt werden.

Die obigen Analyse würden lediglich folgende Vermutungen gestatten :

Bei großer Entropie der Wahrscheinlichkeitsstruktur und ungünstigen Detektionsbedingungen (hohes IC - hohe Schwierigkeit) zweier Kollektive, besitzt das Kollektiv mit größerer Variation der Wahrscheinlichkeitsstruktur einen geringeren Detektionswiderstand (Darstellung 30).

Sind die Detektionsbedingungen für beide Kollektive jedoch günstig (geringes IC - geringe Schwierigkeit), so reduziert sich der Detektionswiderstand des Kollektivs mit der größeren Variation (Darstellung 31).

c) Detektionsverläufe in Abhängigkeit von Entropieverschiebungen im Gesamtkollektiv.

Durch Gleichung(36) wurde gefordert, daß initiale Wahrscheinlichkeitskonzentrationen bzw. Entropiesenkung und initiale Wahrscheinlichkeitsnivellierung bzw. Entropieerhöhung in gleicher Weise detektionsbeschleunigend bzw. detektionshemmend wirken wie die Variation der PRQ-Grenze. Aus den Tabellen 3 - 5

ist jedoch zu entnehmen, daß weder die Erhöhung der Wahrscheinlichkeitskonzentration eine durchgängige Detektionsbeschleunigung erzeugt, noch die Nivellierung der initialen Wahrscheinlichkeitskonzentration eine durchgängige Detektionsverzögerung, sondern daß diese Phänomene, offenbar stärker als vermutet, durch die Variation der übrigen Faktoren überlagert sind. Aus diesem Grunde wäre die oben durchgeführte Kombination der Konfidenzbereiche eigentlich nur bei Konstanzhaltung bzw. vorheriger Abtestung der übrigen Detektionsfaktoren vertretbar, bzw. eine getrennte Variation der Konfidenzgrößen anzuraten.

Eine diesbezügliche Erweiterung des Simulationsbereiches ist jedoch dann unnötig, wenn sich erweist, daß die eine der Konfidenzgrößen im vorliegenden Schwankungsbereich nicht detektionsrelevant ist. Dieser Beweis liegt uns bezüglich der Variation der PRQ-Grenze getrennt für die detektionsfördernde wie die detektionsverzögernde Seite der normalverteilten Schwankung vor, nicht aber für den Bereich von $-0.5000 < Z < +0.5000$. Da jedoch in den weitaus größeren Bereichen von $-3.4000 < Z < -0.5000$ und $+0.5000 < Z < 3.4000$ keine Einwirkung auf den Detektionsverlauf besteht, ist dies auch für den relativ engen Bereich um den idealen PRQ-Wert anzunehmen.

Mit der Sicherheit dieser Annahme kann daher geschlossen werden, daß die Schwankung der Detektionsverläufe allein auf die Variation der Initialentropien zurückzuführen ist. Obwohl, wie erwähnt, die Art der Schwankung der Detektionsverläufe nicht systematisch den Polen der initialen Wahrscheinlichkeitskonzentration zuzuteilen ist, ist weiterhin zu vermuten, daß durch die initialen Konzentrationsabweichungen eine maximale Streuung der Detektionsverläufe erzielt wird, deren Richtung allerdings nicht getrennt von den anderen Faktoren determinierbar ist.

Die Auswertung des Einflusses der Entropieverschiebungen im Gesamtkollektiv muß daher ungerichtet, in Absolutwerten, erfolgen.

In Tabelle 14 wurden die Unterschiede in der Detektionsleistung, die durch die initialen Entropieverschiebungen nach den oben geschilderten Konstruktionsprinzipien verursacht sind in Abhängigkeit von der kritischen Informationsdistanz der Strukturvarianten zusammengestellt. Die Tabellenwerte sind die absoluten Differenzen gemessen in Versuchsstadien zwischen den Detektionsverläufen bei initialer Entropieerhöhung bzw. initialer Entropiesenkung. Für nichtdetektierte Superkontexte wurde bei Erstellung dieser Tabelle wieder Versuchsstadium 41 eingesetzt. Für $IC = 5$ (6) liegt bei vielen Varianten keine Detektion vor. Diese Werte wurden, der schlechten Vergleichbarkeit wegen, weggelassen.

Durch die Konstruktionsweise der Initialverschiebungen ist gewährleistet, daß die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der den Detektionsdifferenzen entsprechenden Strukturdifferenzen in allen Fällen die gleiche (W_0 - vgl. Gleichung (29)) ist. Ebenso bleibt die Gesamtentropie über jedes Paar von initialen Strukturverschiebungen konstant.

Da die durch die initialen Abweichungen in die Simulation gebrachten objektiven Detektionsbedingungen für alle Varianten als gleich angesehen werden müssen, sind die in Tabelle 14 aufscheinenden Tendenzen als Auswirkungen der anderen Variablen zu interpretieren. Berechnet man über jede Entropiestufe (entsprechend $P_{3,1}$) die Summe aller Abweichungen, so kann mit zunehmender Entropie ein deutliches Ansteigen der Abweichungssummen festgestellt werden. Auch die über die einzelnen IC-stufen erhaltenen Abweichungssummen steigen mit zunehmendem IC an.

Die Abb. 33 und 34 bieten die graphische Veranschaulichung eines typischen Ausschnitts aus diesem Zusammen-

Tabelle 14

Absolute Detektionsdifferenzen

Variante	Typ	Entropie	IC				Summe
			1	2	3	4	
.8000	H	1,1865	1	1	2	2	6
	E	1,1730	1	1	2	2	6
	K	1,1513	5	5	5	6	21
Summe			7	7	9	10	33
.7000	H	1,5777	5	5	5	6	21
	E	1,5546	3	3	4	4	15
	K	1,5261	10	10	9	10	39
Summe			17	18	17	19	75
.6000	H	1,8997	8	8	10	9	35
	E	1,8632	4	4	6	5	19
	K	1,8311	12	12	12	12	48
Summe			24	24	28	26	102
.5000	H	2,1610	9	9	11	10	39
	E	2,1151	6	6	8	7	27
	K	2,0742	16	16	15	15	62
Summe			31	31	34	32	128
.4000	H	2,3643	11	11	11	11	44
	E	2,3134	14	14	14	14	56
	K	2,2606	11	11	11	10	43
Summe			35	35	35	35	140
.3000	H	2,5066	9	9	9	42	69
	E	2,4465	10	10	10	23	53
	K	2,3862	8	8	8	6	30
Summe			27	27	27	71	152
Gesamtsumme			132	143	151	192	

hang : In Abb. 33 ist der Verlauf der den verschiedenen Initialstrukturen entsprechenden Detektionskennlinien für Strukturtyp E bei wachsendem IC dargestellt, in Abb. 34 dieselben Detektionslinien für E bei ansteigender Gesamtentropie. (NIE = Nivellierung der initialen Wahrscheinlichkeitskonzentration; EIE = Verstärkung der initialen Wahrscheinlichkeitskonzentration)

Diese Zusammenhänge gestatten folgende Aussagen :

Mit wachsender Gesamtentropie eines Zeichenkollektivs bezüglich seiner Superordnung steigt die Empfindlichkeit des Detektionsprozesses gegenüber internen Strukturverschiebungen. Das gleiche gilt bei ansteigender Schwierigkeit der Detektionsbedingungen.

Betrachtet man die eruierten Tendenzen differenziert nach den einzelnen Strukturtypen H, E und K, so kann unter Beachtung der obigen Diskussion (Kap. b)), einschränkend festgestellt werden, daß die Auswirkungen interner Strukturverschiebungen mit insgesamt wachsender Variation abgeschwächt werden. Strukturtyp K gehorcht nämlich der generellen Tendenz nur teilweise; mit zunehmender Entropie (entspricht bei diesem Typ zunehmender Variation) wird die ursprünglich verfolgte Tendenz wieder rückläufig; eine tendenziöse Beeinflussung der Abweichungswerte durch IC ist nicht erkennbar. Auch hier müßte jedoch eine eingehendere Untersuchung Klärung verschaffen.

Abbildung 33

Detektionsverlauf für die Variante E/.4000 in
Abhängigkeit von IC

— bei reduzierter Initialentropie (EIE)
- - - bei erhöhter Initialentropie (NIE)

IM = Versuchsstadium (= Ordinate)

Auf der Abszisse ist die Rangfolge der Superkontexte
angetragen

IC = 3

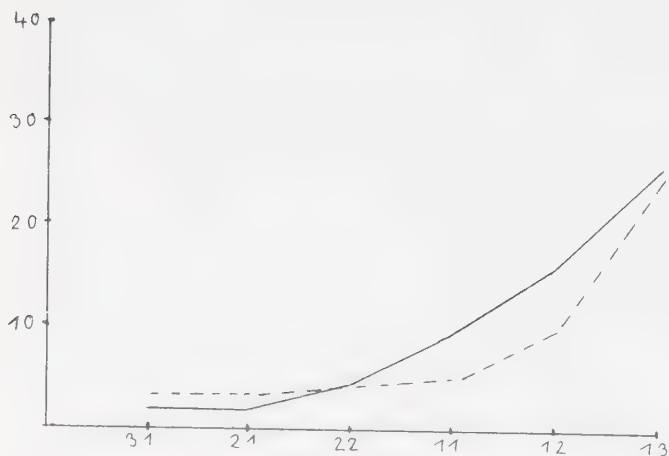
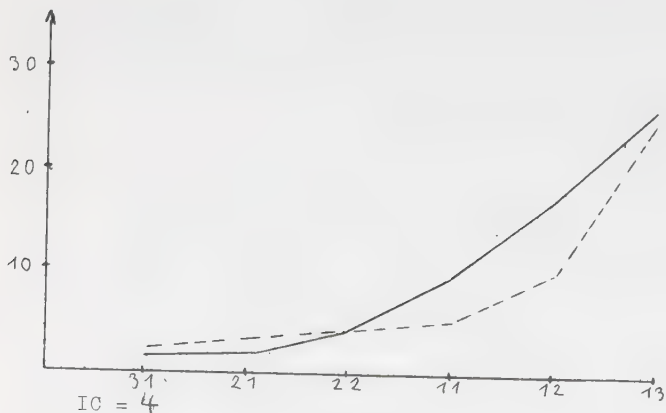


Abbildung 33 (Fortsetzung)

IC = 5

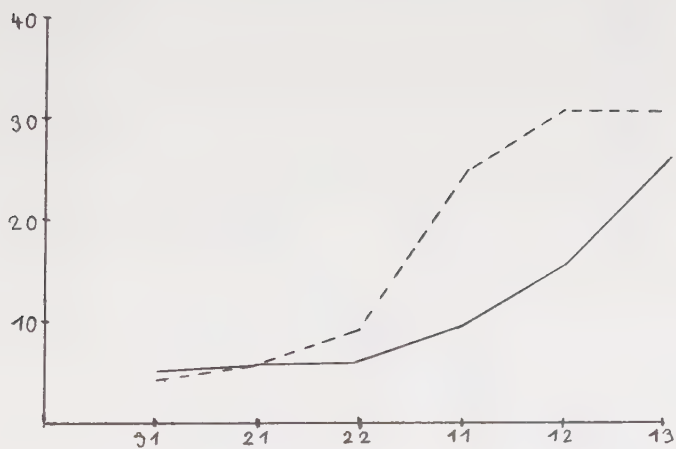


Abbildung 34

Detektionsverlauf für Strukturtyp E bei einer kritischen Informationsdistanz von IC=4 in Abhängigkeit von den Varianten

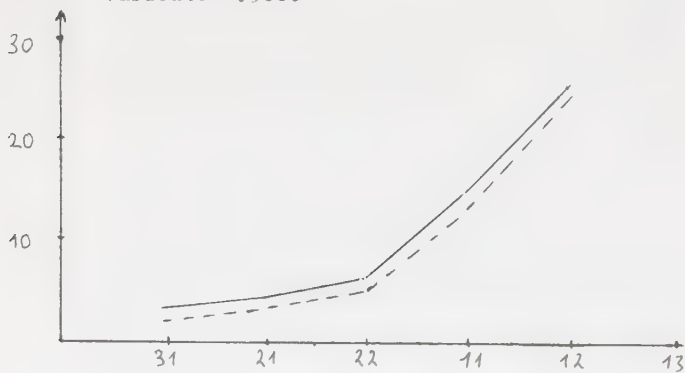
_____ EIE

----- NIE

IM = Versuchsstadium (=Ordinate)

Auf der Abszisse ist die Rangfolge der Superkontexte angetragen

Variante .5000



Variante .4000

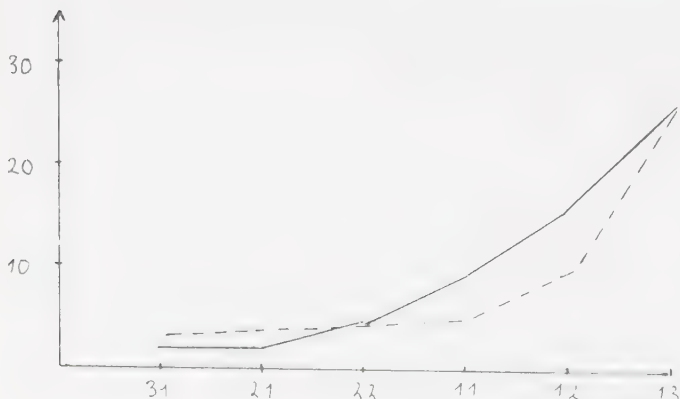
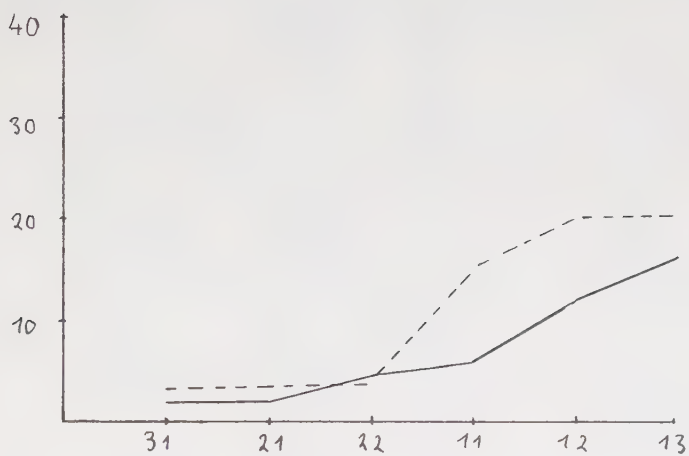


Abbildung 34 (Fortsetzung)

Variante .3000



III. Simulationen mit den konkret versuchsbezogenen Modellen MOD A - F

Die Simulationsläufe mit den Modellen MOD A - F sind als Antizipationen der im folgenden zu besprechenden empirischen Untersuchung zu werten. Wie erwähnt, beziehen sie sich daher in differenzierter Weise auf das Zeichenkollektiv und den Versuchsplan des Experiments. Da durch diese Modelle nicht die Wahrscheinlichkeitskonstellation der Superstruktur als detektionsrelevant simuliert wurde, sondern die dieser zugrundeliegenden, durch die Modellgrundlagen implizierten Prozesse, steht zunächst zur Diskussion, nicht unter welchen Bedingungen welche Superkontexte zu welchem Zeitpunkt erkannt werden, sondern ob überhaupt die durch die Superstruktur nahegelegten Kontexte oder Sequenzen höherer bzw. niedrigerer Ordnung als Superzeichen apperzipiert werden. Diese Diskussion entspricht dem ersten Simulations-schritt.

Nebenbei wurde in dieser ersten Simulationsphase untersucht, inwieweit der Detektionsverlauf durch die Verwendung verschiedener Informationsmodelle (Effektivcodierung und diesbezügliche Approximation) modifiziert wird. Dabei konnte der Vergleich zwischen der Effektivcodierung und ihrer Approximation nur bis zu einer Informationsdistanz von $IC=4$ durchgeführt werden und dies auch nur bei zwei Modellen, da in den anderen Fällen, wie bereits erwähnt, der Rechenaufwand nicht zu bewältigen war.

Vergleich der Detektionsleistungen der Modelle MOD A - F

Aus den Detektionslisten der Modellmodifikationen (Tabellen 15-18) geht hervor, daß keines der Modelle

Tabelle 15

Detektionsliste für die Modellmodifikationen
A,D,E

Kritische Informations- distanz IC	Versuchs- stadium	detektierter Kontext	idealer
1	1	D	ABCD
	1	L	IJKL
	1	FGH	EFGH
	2	T	QRST
	2	P	MNOP
	3	X	UVWX
2	1	D	ABCD
	1	L	IJKL
	2	H	EFGH
abgebrochen			
3	2	H	EFGH
	2	LE	
	2	BCD	ABCD
	5	L	IJKL
	7	UVWX	UVWX
	7	MNOP	MNOP
	21	O	QRST
	21	R	
	21	S	
4	4	D	ABCD
	5	KL	IJKL
	5	GH	EFGH
	10	X	UVWX
	10	T	QRST
	10	P	MNOP
	21	E	
	22	I	
5	7	D	ABCD
	17	GH	EFGH

Tabelle 16

Detektionsliste für die Modellmodifikation B

a) bei approximativer Codierung

Kritische Informations- distanz IC	Versuchs- stadium	detektierter Kontext	idealer
1	1	GHIJKL	
	1	ABCD	ABCD
	1	EFGH	EFGH
	1	IJKL	IJKL
	2	QRS	QRST
	2	MNO	MNOP
	2	UVW	UVWX
2	1	ABCD	ABCD
	1	IJKL	IJKL
	2	EFGH	EFGH
	2	NOP	MNOP
	2	RST	QRST
	2	UVW	UVWX
3	2	ABCD	ABCD
	2	EFGH	EFGH
	3	JKL	IJKL
	7	VWX	UVWX
	7	NOP	MNOP
4	4	ABCD	ABCD
	5	L	IJKL
	5	H	EFGH
	11	VWX	UVWX
	11	RST	QRST
	11	NOP	MNOP
5	8	ABCD	ABCD

Tabelle 16 (Fortsetzung)

Detektionsliste für die Modellmodifikation B
b) bei effektiver Codierung

Kritische Informations- distanz IC	Versuchs- stadium	detektierter Kontext	idealer
1	1	GHIJKL	
	1	ABCDEF	
	1	ABCD	ABCD
	1	IJKL	IJKL
	1	GHMNO	
	2	RST	QRST
	2	FGH	EFGH
	2	MNO	MNOP
	2	P	
2	1	ABCD	ABCD
	1	KL	IJKL
	2	EFGH	EFGH
	4	VWX	UVWX
	4	RST	QRST
3	4	NOP	MNOP
	2	IJKL	IJKL
	3	ABCD	ABCD
	3	H	EFGH
	5	VWX	UVWX
	7	RST	QRST
	7	NOP	MNOP
4	4	IJKL	IJKL
	4	ABCD	ABCD
	5	H	EFGH
	7	VWX	UVWX
	7	NOP	MNOP

Tabelle 17

Detektionsliste für die Modellmodifikation C

a) bei approximativer Codierung

Kritische Informations- distanz IC	Versuchs- stadium	detektierter Kontext	idealer
1	1	ABCD	ABCD
	1	EFGH	EFGH
	1	IJKL	IJKL
	2	QRS	QRST
	2	MNO	MNOP
	2	UVW	UVWX
2	1	ABCD	ABCD
	1	IJKL	IJKL
	2	EFGH	EFGH
	2	NOP	MNOP
	2	RST	QRST
	3	UVW	UVWX
3	2	ABCD	ABCD
	2	LE	
	2	EFGH	EFGH
	4	RST	QRST
	5	KL	IJKL
	5	VWX	UVWX
	7	NOP	MNOP
4	4	ABCD	ABCD
	5	L	IJKL
	5	H	EFGH
	11	VWX	UVWX
	11	RST	QRST
	11	NOP	MNOP
5	7	ABCD	ABCD

Tabelle 17 (Fortsetzung)

Detektionsliste für die Modellmodifikation C

b) bei effektiver Codierung

Kritische Informations- distanz IC	Versuchs- stadium	detektierter Kontext	idealer
1	1	A	ABCD
	1	BCD	
	1	IJ	IJKL
	1	KL	
	1	FGH	EFGH
	1	P	MNOP
	2	ST	QRST
	5	X	UVWX
2	1	KL	IJKL
	1	ABCD	ABCD
	2	FGH	EFGH
	3	VWX	UVWX
	4	RST	QRST
	4	NOP	MNOP
3	2	IJKL	IJKL
	3	ABCD	ABCD
	3	H	EFGH
	5	VWX	UVWX
	7	RST	QRST
	7	NOP	MNOP
4	4	IJKL	IJKL
	4	ABCD	ABCD
	5	H	EFGH
	7	VWX	UVWX
	7	NOP	MNOP
	23	Q	QRST

Tabelle 18

Detektionsliste für die Modellmodifikation F

Kritische Informations- distanz IC	Versuchs- stadium	detektierter Kontext	idealer
1	1	GHIJKL	(IJKL)
	1	ABCDI	(ABCD)
	1	JKLQR	
	1	STIJK	
	1	CDABC	
	1	DEFGH	(EFGH)
	abgebrochen		
2	1	ABCD	ABCD
	1	IJKL	IJKL
	1	FGH	EFGH
	1	QRS	QRST
	5	VWX	UVWX
	5	NOP	MNOP
	5	TM	
3	2	ABCD	ABCD
	2	EFGH	EFGH
	2	JKL	IJKL
	2	RST	QRST
	2	NOP	MNOP
	2	UV	UVWX
	5	WX	
4	4	ABCD	ABCD
	4	JKL	IJKL
	4	FGH	EFGH
	11	WX	UVWX
	11	ST	QRST
	11	OP	MNOP
5	7	ABCD	ABCD
	7	FGH	EFGH

A-F die durch die Superstruktur des Reizgefüges implizierten Superzeichen vollkommen wiedergibt. Die einzelnen Modellmodifikationen unterscheiden sich in der Annäherung an die Idealstruktur des Zeichenkollektivs nur graduell (MOD A steht wegen identischer Detektionsleistungen mit MOD D und MOD E stellvertretend auch für diese Modifikationen !)

Grob gesehen kann man zwei Gruppen von Modellmodifikationen unterscheiden : Die Gruppe A-D-E und die Gruppe B-C-F . Im Vergleich mit der idealen Superstruktur des Zeichenkollektivs verkörpert die letztere die Gruppe der "angepaßteren" Modelle. Obwohl auch von diesen Modellen keines die ideale Superstruktur vollkommen produziert, erstreckt sich bei ihnen die fragmentarische Wiedergabe vorwiegend auf die selteneren Superkontexte. Die drei häufigeren Superkontexte werden bei geringen IC-Graden (1,2 und 3) meist vollständig produziert.

In der Gruppe A-D-E hingegen werden im allgemeinen nur Elemente oder Dyaden detektiert.

Da beiden Gruppen das gleiche Zeichenkollektiv zugrundeliegt ist für die Gruppe B-C-F zunächst eine größere Detektionsleistung im Sinne einer größeren Informationsreduktion des Zeichenkollektivs festzustellen.

An diesem Punkt der Diskussion ist jedoch darauf aufmerksam zu machen, daß eine solche Aussage nur bezüglich der vorliegenden Generalisierungsstufe des Simulationsmodells gilt. Sollte das Detektionsmodell auf Superzeichen höherer Ordnung verallgemeinert werden (wie das geplant ist), so würden die bereits bei einem ersten Detektionsdurchgang produzierten Superzeichen zu Elementen des zweiten Durchgangs zusammen mit noch nicht bei der Superzeichenbildung verwendeten Einheiten usw. In diesem Falle könnten dann beim ersten Durchgang nur fragmentarisch erkannte Superkontexte im weiteren Verlauf der Redundanz erzeugung zusammengeschlossen werden zu den in der

Superstruktur antizipierten Idealkontexten. Die dadurch eingeführte Modellkomplizierung würde zugleich eine Modifikation der simulierten Superzeichenspeicherung gestatten : Superzeichen sind ja gewöhnlich nicht einmalige Abfolgen von Elementarzeichen, sondern sie sind zumeist gegliedert in Untereinheiten, welche im menschlichen Apperzeptionssystem bei der Bewußtwerdung des Superzeichens mitbewußt sind. Diese "analytische" Fähigkeit des Apperzeptionssystems sollte neben der "synthetischen" der Superzeichenbildung zu einer zusätzlichen Eigenschaft des Modells werden. Die Konzeption "irreversibler Superzeichen" wird dadurch nicht berührt; die Anwendung des Simulationsmodells auf Reihen von Superkontexten mit teilweise identischen Subsequenzen wird jedoch dadurch ermöglicht.

In diesem Fall ist es möglich, daß die Modellgruppe A-D-E mit der zunächst niedrigeren Syntheseleistung auf der vorliegenden Komplexitätsstufe besser abschneidet, da sie von vornherein kleinere Einheiten als Detektionsergebnis liefert.

Aus diesen Erwägungen geht bereits hervor, daß von der Detektionsleistung her zunächst keines der vorliegenden Modelle als prinzipiell unbrauchbar ausgesondert werden kann. Es ist nur zu vermuten, daß die Modellgruppe A-D-E sich bei der derzeitigen Simulationskomplexität noch nicht ausreichend den empirischen Gegebenheiten annähert. Diese Entscheidung muß jedoch dem zweiten Simulationsschritt (= Überprüfung des Modells an empirischen Kriterien) vorbehalten werden.

In Bezug auf die Detektionsleistung der Modellgruppe B-C-F ist aus den Tabellen ersichtlich, daß im allgemeinen die Superkontexte mit höheren Auftrittswahrscheinlichkeiten eine größere Chance haben in ihrer Idealstruktur vollständig detektiert zu werden als die selteneren.

Als weitere Tendenz scheint auf, daß in den meisten Fällen, in denen nur Fragmente der Idealstruktur als Superzeichen produziert werden, die Unvollständigkeit durch Vernachlässigung von Elementarzeichen zustandekommt, die am Anfang des idealen Kontextes stehen. In Kapitel I dieses Teils wurde davon gesprochen, daß das Detektionsmodell eine Art Kohärenzeffekt impliziere der von Stellen hohen informationellen Kontrastes (bezüglich aller ordnungsspezifischen Informationsbeiträge) ausgehe und bewirke, daß vorangehende Zeichenfolgen als Ganzheit erscheinen. Bei geringer bis mittlerer Schwierigkeit des Kollektivs ($IC = 1-3$) läßt sich nun der Tendenz nach feststellen, daß dieser Kohärenzeffekt mit abnehmender Auftrittswahrscheinlichkeit der Superkontexte reduziert wird, d.h. von der superzeichenbildenden Wirkung des Kontrastes nur noch Fragmente der idealen Superstruktur erfaßt werden (besonders deutlich zu sehen bei MOD B ($IC=1$), MOD F ($IC=1(2,3,4)$)). Daß diese Tendenz bei steigender Schwierigkeit (wachsendem IC) teilweise durchbrochen wird, kann mit Hilfe der im letzten Kapitel eruierten, mit IC ansteigenden Empfindlichkeit des Detektionssystems gegenüber internen (z.B. durch statistische Schwankungen bedingten) Entropieverschiebungen erklärt werden.

Die Simulationsergebnisse dieser Modellgruppe B-C-F erscheinen als mögliche Antizipationen der empirischen Gegebenheiten auf der gegebenen Komplexitätsstufe der Simulation plausibler als die der Gruppe A-D-E. Deshalb sollen die aus dem Detektionsverlauf dieser Modelle entnommenen Charakteristika zunächst mit Vorbehalten als Implikationen der Modellgrundlagen akzeptiert werden.

Sieht man von der Anpassungsgüte der Modellreaktionen an die ideale Superstruktur des Zeichenkollektivs ab und betrachtet nur die Versuchsstadien der einzelnen Detektionen in Abhängigkeit von der Wahrscheinlich-

keitsrangordnung jener Superkontexte, die partiell oder ganz durch die Modelle detektiert werden, so lassen sich offenbar wiederum ähnliche monoton steigende Kurven finden, wie im Output der probabilistischen Simulation PROGNOSE.

Für die Modellmodifikationen B und C wurde ein Vergleich der Detektionsleistungen bei verschiedenen Codierungsverfahren vorgenommen. Aus den diesbezüglichen Tabellen 16 und 17 geht hervor, daß bei den häufigeren Superkontexten die effektive Codierung und ihre Approximation nur geringe Detektionsdifferenzen zeigen, die mit abnehmender Häufigkeit der Superkontexte sich leicht vergrößern. Die Approximation der Effektivcodierung kann im vorliegenden Zusammenhang als brauchbare Schätzung akzeptiert werden.

Aus den Detektionsergebnissen der Simulationen MOD A - F lassen sich zusammenfassend folgende Tendenzen formulieren :

Die ideale (lückenlose) Superstruktur eines Zeichenkollektivs wird im Detektionsergebnis der Simulationsmodelle B-C-F umso besser widergespiegelt, je geringer die Schwierigkeit des Gesamtkollektivs ist,

Mit zunehmender Schwierigkeit des Kollektivs trifft die fragmentarische Wiedergabe der Superstruktur zuerst die Superkontexte mit geringeren Auftrittswahrscheinlichkeiten.

Definiert man die Detektion von Superzeichen global als einen von Punkten hoher Information im Zeichenkollektiv ausgehenden, rückwirkenden "Kohärenzeffekt", so kann angenommen werden, daß mit zunehmender Schwierigkeit des Kollektivs und abnehmender Auftrittshäufigkeit der idealen Superkontexte die Kohärenzwirkung zurückgeht.

Zusammenfassung der Grund- annahmen und theoretischen Implikationen des Detektions- modells

Voraussetzungen :

Das dargestellte Detektionsmodell ist zunächst eingeschränkt auf zeitliche Folgen von Zeichen mit lückenloser Superstruktur. Alle auftretenden Superkontexte besitzen den gleichen Ordnungsgrad (= die gleiche Länge in Elementarzeichen).

Grundannahmen :

Alle durch den selbstorganisierenden Empfänger aufgenommene Information wird in binärcodierter Form gespeichert und weiterverarbeitet. Zugrundegelegt wird dabei das Modell der Effektivcodierung. Dies betrifft nicht nur die elementaren Zeichen, sondern auch die Sequenzen von Zeichen verschiedener Ordnungsgrade (bis zu einem maximalen, kapazitätsbedingten Grad).

Besitzt eine Zeichenfolge eine Superstruktur, so wird dieser Codierungsprozeß von charakteristischen Informationsverschiebungen bezüglich einander entsprechender Sequenzen verschiedener Ordnungsgrade begleitet. Es wird angenommen, daß eine bestimmte kritische Informationsdiskrepanz zwischen einander entsprechenden Sequenzen aufeinanderfolgender Ordnungen zur Detektion der Sequenz der niedrigeren Ordnung als Superzeichen führt.

Durch die Größe der kritischen Informationsdistanz wird die Schwierigkeit des Detektionsprozesses bzw. die seiner experimentellen Realisation beschrieben. Diese

Größe wird deshalb , zunächst als einziger, variabler Modellparameter eingeführt.

I m p l i k a t i o n e n :

Die Detektion von Superzeichen erfolgt sprunghaft, vergleichbar dem psychologischen Einsichts-Phänomen.

Im Allgemeinen steigen die Detektionschancen eines Superkontextes mit dem Anwachsen seiner Auftretts-wahrscheinlichkeit und der Verminderung der Auftretts-wahrscheinlichkeit potentieller Nachfolgerkontexte. Durch beide Faktoren wird der durchschnittliche informationelle Kontrast eines möglichen Superzeichens zu seiner Umgebung determiniert. Will man diesen Sachverhalt global charakterisieren, so kann man auch von einem "Kohärenzeffekt" sprechen, der von Punkten hoher Information des Zeichenkollektivs rückwirkend die ganzheitliche Wahrnehmung der vorangehenden Reizeinheiten begünstigt. Dieser "Kohärenzeffekt" reduziert sich mit zunehmender Schwierigkeit des Zeichenkollektivs und mit abnehmender Auftretts-häufigkeit der betroffenen Sequenzen.

Der Detektionszeitpunkt der idealen Superkontexte oder einer ihrer Untersequenzen erweist sich generell als eine monoton steigende Funktion der Wahrscheinlichkeits-rangordnung der Superkontexte.

Steigt der Entropiegrad der Superstruktur des Zeichenkollektivs an, so beschleunigt sich bei geringer Schwierigkeit des Zeichenkollektivs der Detektionsvorgang insgesamt, bei erhöhter Schwierigkeit des Zeichenkollektivs tritt nach anfänglicher Beschleunigung des Detektionsvorgangs eine Verzögerung ein. Je geringer die Entropie der Superstruktur eines Zeichenkollektivs ist, desto weniger wird die Detektionsleistung durch die Schwierigkeit des Kollektivs modifiziert. Bei gleicher Entropie der Superstruktur von Zeichenkollektiven ge-

stattet das Variationsmaß (=Variationskoeffizient) eine differenzierte Beurteilung der Detektionsleistung: Das Kollektiv mit größerer Variation seiner Wahrscheinlichkeitsstruktur erweist sich als unempfindlicher gegenüber Veränderungen des Schwierigkeitsgrades. Interpretiert man den Variationskoeffizienten als Maß für den durchschnittlichen häufigkeitsbedingten Kontrast in einer Zeichenfolge, so ergibt sich dieser Zusammenhang als eine Generalisierung der oben formulierten "Kontrastbedingung".

Mit ansteigender Gesamtentropie der Superstruktur eines Kollektivs , sowie mit ansteigendem Schwierigkeitsgrad, wächst die Empfindlichkeit des Detektionssystems gegenüber statistischen Schwankungen der den Versuchsstadien entsprechenden Partialkollektive.

Die Implikationen des vorliegenden Detektionsmodells sind zunächst als Arbeitshypothesen für empirische Untersuchungen aufzufassen. Gleichzeitig sollen sie aber auch dazu dienen, eine Art Common-sense-Validierung und Plausibilisierung des Modells vor jeder empirischen Untersuchung zu leisten und damit eine gewisse psychologische Relevanz der in Teil 3 durchgeführten Deduktionen erweisen.

IV. Versuch einer lernpsychologischen Interpretation des Superzeichendetektionsmodells

Die theoretischen Implikationen des Detektionsmodells legen es nahe, eine Interpretation der zunächst rein formalen Relationen des Modells durch lernpsychologische Termini zu versuchen. Natürlich ist, bei der Beschaffenheit des Detektionsmodells, vor allem an eine Konfrontierung mit der behavioristischen Erklärung des Lernens von Verhaltenssequenzen gedacht.

Um eine solche Gegenüberstellung durchführen zu können, sind einige, bei der Deduktion des Detektionsmodells auferlegte, Beschränkungen etwas zu modifizieren. Die Modifikationen betreffen jedoch nicht die Modellgrundlagen und die formalen Relationen des Modells, sondern nur die Art des Modellinputs. Die Notwendigkeit dieser Änderung wird deutlich, wenn wir die Definition der Input-Größen unseres Detektionsmodells durch lernpsychologische Termini vornehmen :

Die Aufeinanderfolge von Reiz-Reaktionseinheiten bei komplexen Verhaltenssequenzen ist informationstheoretisch als ein Kollektiv von Verhaltenselementen (=Zeichen) zu interpretieren und wird im gleichen internen Schema codiert.

Etwas mehr inhaltlich formuliert :

Jede Bewegung eines Organismus wird, nach den V.HOLST-schen Untersuchungen, in Form einer Efferenzkopie gespeichert. Sinneseindrücke werden, unter Vernachlässigung der aktuellen Bewegung (vgl. dazu ebenfalls die Untersuchungen von V.HOLST) gleichfalls zentral fixiert, so daß für unsere Definition nur noch die Annahme hinzukommt, daß beide Speicherungsprozesse

im gleichen Schema erfolgen.

Akzeptiert man aber die zentralnervöse Äquivalenz von Sinneseindrücken und Bewegungsrückmeldungen, so ist das Lernen von Verhaltenssequenzen in informationspsychologischer Sicht prinzipiell nicht verschieden vom Lernen von Wahrnehmungsinhalten. Die Inputelemente unseres Modells lassen sich demnach interpretieren als in irgendeiner Weise objektivierbare Verhaltenselemente.

Daraus folgt, daß das Input-Repertoire verschiedener Zeichen für unser Modell, gegenüber dem bei den Simulationen verwendeten, erheblich zu erweitern ist, wenn komplexe Verhaltensmuster erfaßt werden sollen. Natürlich ist gleichzeitig eine Erweiterung der maximalen Sequenzkapazität des Detektionssystems erforderlich, die wir vorerst nur gedanklich vornehmen wollen.

Eine erste Folgerung, die sich aus der obigen Interpretation ableiten läßt, ist die Definition des Versuch-Irrtum-Verhaltens als die Produktion von Verhaltenssequenzen, deren interne Repräsentation entsprechend den Modellgrundlagen in allen Untersequenzen ordnungsspezifisch gespeichert wird.

Sind diese Modifikationen und Interpretationen vorgenommen, so lassen sich über die theoretischen Implikationen des Detektionsmodells, die davon ja nicht berührt werden, folgende lernpsychologische Aussagen formulieren :

1. Beim Lernen einer Verhaltenssequenz steigt der Lernerfolg einerseits in Abhängigkeit von der Anzahl der Wiederholungen der Sequenz, andererseits in Abhängigkeit von der Reduktion des dem Verhalten zugrundeliegenden "Bedürfniszustandes" (vgl. dazu die entsprechenden Gesetze von HULL u.a.)

Begründung : Je ausgiebiger, z.B. in einem Labyrinthversuch, die der "Problemlösung" nachfolgende Triebbefriedigung ist, desto wahrscheinlicher ist nach Ablauf der triebreduzierenden Endhandlung das Auftreten von Verhaltensweisen eines ganz anderen Verhaltenssektors oder zielloser, zufälliger Bewegungen. In beiden Fällen ist im postulierten internen Schema der binärcodierten Verhaltenselemente ein informationeller Kontrast anzusetzen, der umso größer angenommen werden kann, je größer die Auftrittswahrscheinlichkeiten der zur triebreduzierenden Verhaltenssequenz gehörenden Verhaltenspartikel sind. Ein solcher informationeller Kontrast aber, bedingt durch die Wahrscheinlichkeitsunterschiede aufeinanderfolgender Komplexe des gleichen Zeichenrepertoires, übt nach den Ergebnissen der Detektionssimulation eine Art "Kohärenzeffekt" auf vorhergehende Zeichenfolgen aus, dergestalt, so müssen wir anfügen, daß das Eintreten von Teilen solcher Folgen die zunächst interne Reproduktion der ganzen Folge nach sich zieht.

Diese Interpretation des Lernens von Verhaltenssequenzen als Lernen von Superzeichen kommt zu ähnlichen Ergebnissen wie die Interpretation Guthries, daß nicht die direkte Wirkung des Erfolgs einer Verhaltenssequenz deren Einprägung begünstigt, sondern seine indirekte in Form einer Verhinderung der Desintegration des vorausgehenden Verhaltens.

2. Verhaltenssequenzen werden vom Ziel des Verhaltens her gelernt. Die Kohärenz der Verhaltenselemente nimmt während der Lernphase mit zunehmender zeitlicher Entfernung zum Ende der Sequenz ab. Je geringer die bisherige Auftrittshäufigkeit einer Verhaltenssequenz war und je schwieriger die zu bewältigende Lernsituation ist, desto deutlicher wird dieser Effekt sichtbar.

(Vgl. "Zielgradient" bei HULL)

Begründung : Als eine Implikation des Detektionsmodells wurde oben festgestellt, daß der vom Ende einer Sequenz von Zeichen ausgehende Kohärenzeffekt mit abnehmender Auftretshäufigkeit der Folge und bei zunehmender Schwierigkeit der Detektionsbedingungen reduziert wird.

Behält man die inhaltliche Interpretation dieses Kohärenzeffektes , die unter 1. gegeben wurde bei, so ergeben sich die unter 2. gemachten Aussagen.

3. Vollständige Verhaltenssequenzen oder auch Teile von Verhaltenssequenzen haben nach beendetem Lernvorgang die Tendenz, als "Ganzheit" aufzutreten. Die Beendigung des Lernprozesses kann, auch nach vorherigem nichtoptimalen Verhalten, unvermittelt erfolgen.

(Vgl. "antizipatorische Zielreaktionen" , "determinierende Tendenzen" , THORNDIKES "belongingness" usw.)

Diese Aussage ist ableitbar aus der "molekularen" Interpretation des Detektionsmodells. Die Annahme der Binärcodierung und der Bildung von ordnungsspezifischen Kollektiven gestatten diese Folgerung.

4. Eine Sequenz von Verhaltenselementen wird umso leichter gelernt, je vielfältiger das Verhaltensrepertoire des lernenden Organismus ist.

Diese Aussage ist begründbar mit der Detektionsbeschleunigung bei zunehmender Gesamtentropie des dargebotenen Kollektivs. Interpretiert man diese Gesamtentropie als "Variabilität der Verhaltensproduktion" beim Lernen von Verhaltensweisen, so ist Satz 4 ableitbar.

Wie aus dem Vergleich dieser wenigen aus dem Detektionsmodell ableitbaren Thesen bezüglich des Lernens von komplexeren Verhaltensweisen mit den in Teil 1 geschild-

derden behavioristischen Modellen hervorgeht, verspricht ein informationstheoretischer Ansatz im Bereich der Lerntheorie wahrscheinlich eine kohärentere Formulierung und Operationalisierung als es bei den konventionellen Konzepten der Fall ist.

Der Exkurs über die lerntheoretische Interpretation des Detektionsmodells war nur als diesbezüglicher Hinweis gedacht. Trotzdem dürfte einsichtig geworden sein, daß der vorliegende Ansatz nur einer geringfügigen Erweiterung und Differenzierung bedarf, um explizite Voraussagen auch auf dem Gebiet des komplexeren Verhaltens zu gestatten.

Die Prognosemöglichkeiten sind jedoch für dieses Modell (wie aus den Voraussetzungen und der theoretischen Einordnung eindeutig hervorgeht) beschränkt auf die Erklärung des Zustandekommens und der Entstehungsbedingungen von irreversiblen Superzeichen. Es versteht sich von selbst, daß diese prinzipielle Beschränkung auch für die Ansätze der lerntheoretischen Interpretation ausschlaggebend ist, so daß also nur das Erlernen von nicht umkehrbaren Verhaltensfolgen erfaßt werden kann (vgl. dazu das "Gesetz der Polarität" von THORNDIKE !)

V i e r t e r T e i l

D i e e x p e r i m e n t e l l e R e a l i s a - t i o n d e s D e t e k t i o n s m o d e l l s

Das in diesem Abschnitt eingehend zu besprechende Experiment wurde in seinen wesentlichen Grundzügen bereits an verschiedenen Stellen der vorangehenden Teile der Arbeit vorweggenommen. Es wurde dort darauf hingewiesen, daß, insbesondere die geschilderten Simulationsmodelle, zum Teil auf die Bedingungen des Experiments festgelegt sind; zum anderen Teil ist der Aufbau des Versuchs durch Modellrestriktionen determiniert, die aus formalen Gründen notwendig wurden.

I. Versuchstechnische und versuchsökonomische Erwägungen

Prozesse der vorliegenden Art sind prinzipiell im optischen, im akustischen und auch im haptischen Sinnesbereich erforschbar. Es kann angenommen werden, daß die zentralnervösen Korrelate dieser Vorgänge vom Sinnesgebiet weitgehend unabhängig sind (vgl. dazu auch die lerntheoretische Interpretation des Detektionsmodells in Teil 3 / IV). Trotzdem ist es im Interesse einer Validierung des Detektionsmodells auf breiter Basis nötig, in allen relevanten Sinnesbereichen Experimente durchzuführen und die eventuelle Invarianz des Modells gegenüber Reiz- und Reaktionsmodifikationen zu erweisen.

In der vorliegenden Arbeit soll mit einem Vorversuch zu dieser Validierungsreihe begonnen werden. Dieser

Vorversuch hat die Aufgabe, für künftige Arbeiten ein Modell aus den oben abgeleiteten Modifikationen auszusondern, das die beste Annäherung an die Reaktionen der Versuchspersonen zeigt. Es sei jedoch hier bereits vorweggenommen, daß durch den Versuch noch keine Bestätigung bzw. Falsifizierung des Detektionsmodells beabsichtigt sein kann, da dessen Flexibilität dafür noch nicht ausreichen dürfte.

Sowohl im Hinblick auf den Sinnesbereich wie auch bezüglich der Versuchsanordnung wurde ein Experiment gewählt, das schon mehrfach als "Akkommodationsversuch" Verwendung fand. Denn für eine erste, vorläufige, empirische Prüfung des sehr komplexen Detektionsmodells schien es angeraten, von einem experimentellen Schema auszugehen, das seinen Durchführungsbedingungen und Fehlermöglichkeiten nach ausreichend bekannt ist.

Das Verfahren geht auf FRANK zurück und wurde vom Verfasser ebenfalls erprobt (HÜBNER 1964). Es handelt sich um die bereits mehrfach beschriebene sukzessive akustische Darbietung und mündliche Reproduktion von Zeichenreihen (Zahlen, Buchstaben usw.).

Während bei bisherigen Versuchen nach diesem Schema nur die Reproduktion der Elementstruktur des Zeichenkollektivs zur Diskussion stand, soll im vorliegenden Fall die Eignung des Schemas auch für die Erfassung des Detektionsvorgangs gegeben sein. Dies kann prinzipiell angenommen werden, da, wie in Kapitel V des letzten Abschnitts gezeigt werden konnte, sich die zur Detektion führenden und nach der Detektion bestehenden Reproduktionsphasen in der Elementstruktur der reproduzierten Reihen in charakteristischer Weise niederschlagen müßten.

Es ist jedoch nicht von vornherein gewährleistet, daß sich der Detektionsvorgang so langsam vollzieht, daß diese verschiedenen Phasen bei der recht groben Rasterung in Versuchsabschnitte ausreichend und nach-

vollziehbar zur Ausprägung gelangen. Aus diesem Grunde sollte dafür Sorge getragen werden, daß die Schwierigkeit des Detektionsprozesses durch die Anlage des Experiments in genügender Weise angehoben wird, so daß der zu untersuchende Vorgang sich dadurch auf möglichst viele Reproduktionsstadien ausdehnt.

II. Der Aufbau des Zeichenkollektivs

Das Versuchskollektiv setzt sich zusammen aus drei Reihen von Zeichen, der Eingewöhnungsphase, und 40 (bzw. 60) Darbietungsreihen, der Versuchsphase. Eingewöhnungsphase und Versuchsphase gehen für die Versuchspersonen unmerklich ineinander über. In den ersten drei Reihen treten alle Zeichen, aus denen sich das folgende Gesamtkollektiv zusammensetzt, in gleichen Häufigkeiten und in ideal zufälliger Anordnung auf. Dies gilt nicht mehr für die folgenden 40 (bzw. 60) Reihen; sie besitzen eine Superstruktur, die verschiedenen Bedingungen genügen soll :

- a) Sie bestehe lückenlos aus in gleicher Weise wiederkehrenden Sequenzen von Zeichen der Ordnung 4 .
(vgl. Modelleinschränkungen !)
- b) Diese Sequenzen folgen in stochastischer Unabhängigkeit aufeinander.
(vgl. Modelleinschränkungen)

Aus der Forderung, daß die einzelnen Sequenzen nicht nur statistisch, sondern auch wahrnehmungs- bzw. lernpsychologisch voneinander unabhängig oder in gleichem Maße abhängig sein sollen, resultiert folgende Bedingung :

- c) Die Sequenzen von Zeichen seien alle einander maximal unähnlich bzw. in gleichem Grade ähnlich (zur Vermeidung nicht detektionsbedingter Gruppierungen !)

Aus den unter I angestellten versuchstechnischen Erwägungen wird bezüglich der Schwierigkeit des Experiments an die Struktur des Zeichenkollektivs folgende Bedingung gestellt :

- d) Die Zeichen sind so zu wählen, daß die Detektion der Superzeichen erschwert und dadurch der Detektionsprozeß in längere Einzelphasen zerlegbar wird.

1. Die Konstruktion des Zeichenkollektivs

Für das Experiment sollen die Ziffern von 1 bis 9 verwendet werden. Damit ist der Vorteil verbunden, daß das verwendete Repertoire bereits zu Beginn des Versuchs hinreichend bekannt ist. Hinzu kommt, daß die subjektiven Erwartungswahrscheinlichkeiten der Ziffern als etwa gleich groß angenommen werden können, eine Eigenschaft, die bei der Verwendung eines künstlichen Repertoires erst experimentell zu erzeugen wäre.

Da jedoch Sequenzen von einfachen Ziffern in einem Akkommodationsexperiment zu schnell in ihrer Superstruktur erfaßt würden, werden nicht die einzelnen Ziffern, sondern nach bestimmten Regeln erzeugte Ziffernpaare als Einheiten verwendet. Bei der Konstruktion dieser Paare ist folgendes zu beachten :

- Zur Vermeidung von Ziffernaffinitäten, die durch die natürliche Zahlenreihe nahegelegt werden, darf in keiner Dyade eine Aufeinanderfolge von Ziffern auftreten, die beim Abzählen vorwärts oder rückwärts vorkommt.
- Zur Vermeidung von Ziffernaffinitäten, die durch einen gemeinsamen Faktor zustandekommen könnten, wird in jeder Dyade eine gerade und eine ungerade Zahl verwendet.

Bei Einhaltung dieser Konstruktionsprinzipien werden genau 24 verschiedene Dyaden gefunden (vgl. Abb. 35). Da der Versuch so angelegt ist, daß die Ziffernpaare als Elementarzeichen empfunden werden, kann die durch die besondere Konstruktionsweise bedingte unterschiedliche Beteiligungshäufigkeit der einzelnen Ziffern an der Zusammensetzung der Paare als für die Apperzeption der Zeichenreihe irrelevant betrachtet werden.

2. Die Konstruktion der Superkontexte des Zeichenkollektivs

Wie schon mehrfach erwähnt, erfordert die Modellkonzeption ein Zeichenkollektiv mit lückenloser Superstruktur von einheitlichem Ordnungsgrad, d.h. es bestehe aus aneinandergereihten Superkontexten gleicher Länge. Nach einigen Vorversuchen wurde die Länge eines Superkontextes auf vier Einheiten (also vier Zifferndyaden) festgelegt. Da insgesamt 24 verschiedene Elementareinheiten zur Verfügung stehen, sind also 6 auf dem Niveau der Elementarzeichen maximal verschiedene Superkontexte konstruierbar. Die 24 verschiedenen Dyaden wurden jedoch nicht willkürlich den einzelnen Superkontexten zugeteilt, sondern es wurde in Betracht gezogen, daß im Dyadenrepertoire jeweils die beiden Permutationen eines Paares vorkommen (z.B. 27, 72). Weiter treten Gruppen von Dyaden auf, die partiell gleich sind (z.B. 92, 96, 94). Um einen möglichen Einfluß solcher Ziffernhäufungen innerhalb eines Superkontextes auf die Detektion zu verhindern, wurde der Konstruktion des Superzeichenreperfoires das Prinzip zugrundegelegt, daß in einem Superkontext eine Ziffer nur einmal vorkommen dürfe.

Es soll nun gezeigt werden, das das Repertoire von Superkontexten (vgl. Tab. 19) , die oben für das Zeichenkollektiv geforderten Bedingungen c) und d) erfüllt.

Unter c) wird gefordert, daß die Sequenzen der Zeichen alle einander maximal unähnlich bzw. im gleichen Grade ähnlich sein sollten. Die vorliegenden Superkontexte sind bezüglich ihrer Dyadenstruktur einander maximal unähnlich, bezüglich ihrer Ziffernstruktur jedoch einander in annähernd gleichem Grade ähnlich.

Darstellung 35

Ziffern-Dyaden-Matrix

Ziffern	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	-	-	14	-	16	-	18	-
2	-	-	-	-	25	-	27	-	29
3	-	-	-	-	-	36	-	38	-
4	41	-	-	-	-	-	47	-	49
5	-	52	-	-	-	-	-	58	-
6	61	-	63	-	-	-	-	-	69
7	-	72	-	74	-	-	-	-	-
8	81	-	83	-	85	-	-	-	-
9	-	92	-	94	-	96	-	-	-

Tabelle 19

Superzeichenrepertoire

Superzeichen	Dyadenzusammensetzung					relative Häufigkeit
I	92	74	63	81		.3000
II	58	16	47	29		.2000
III	83	41	69	72		.2000
IV	36	52	94	18		.1000
V	49	27	85	61		.1000
VI	14	38	96	25		.1000

Die letztere Eigenschaft des Superzeichenrepertoires dürfte sich auf den Detektionsprozeß erschwerend auswirken, da sie die Unterscheidbarkeit der einzelnen Superkontexte erheblich reduziert. Es wird gehofft, daß damit die unter d) gestellte Forderung nach einer Spreizung des Detektionsvorgangs erfüllt wird, denn die Ähnlichkeit der Superkontexte wirkt sich wahrscheinlich nur auf die gedächtnismäßige Fixierbarkeit und die Reproduzierbarkeit der Zeichenreihen in der Sprache des Modells also auf die eindeutige Codierbarkeit und Kurzspeicherrepräsentation der Zeichenreihen und damit auf die Geschwindigkeit des Detektionsprozesses aus, nicht aber auf die Art des Vorgangs selbst.

3. Die Konstruktion der Reihen

Für die Konstruktion der Zeichenreihen sind die Postulate a) und b) zuständig. Postulat a) wird erfüllt, wenn nur die in Tabelle 19 zusammengestellten Superkontexte I - VI das Gesamtkollektiv konstituieren.

Die für die einzelnen Superkontexte angegebenen Wahrscheinlichkeiten in Tabelle 19 sind Durchschnittswerte über das Gesamtkollektiv. (Diese Wahrscheinlichkeitskonstellation wurde über Operationen mit dem Programm PROGNOSE bei Verwendung von 6 Superkontexten mit verschiedenen Erwartungswahrscheinlichkeiten als hinsichtlich der Detektionsergebnisse optimal ausgewählt.)

Postulat b) ist Genüge getan, wenn die am Kollektiv ermittelten Übergangswahrscheinlichkeiten zweier beliebiger Superkontexte ($S_i \rightarrow S_j$) nicht erheblich vom Produkt ihrer Wahrscheinlichkeiten $P_i \cdot P_j$ abweichen. Die über das Multiplikationstheorem für unabhängige Wahrscheinlichkeiten gewährleistete zufällige Aufeinanderfolge der Superkontexte wird nur für Paare von Superkontexten untersucht, nicht also für

Folgen von Superkontexten höherer Ordnung, da letztere für den vorliegenden Detektionsversuch zunächst irrelevant sind.

Nun zur Konstruktion der Superreihen (= Reihen aus Superkontexten) . Jede Reihe besteht aus 10 Superkontexten. Folgendes wurde beachtet :

- Die Konstruktion folgt im Prinzip einer Tabelle von Zufallszahlen
- Ende und Anfang einer Reihe sollten zur Vermeidung überzufälliger Anfangs-bzw. Endbetonungen auf alle Superkontexte aufgeteilt werden.
- Am Ende einer Superreihe sollte nicht der gleiche Kontext wie am Anfang der folgenden stehen, gleichfalls zur Vermeidung von positionsbedingten Überbetonungen.

Die Superreihen 1 - 10 wurden nach diesen Prinzipien konstruiert (Abb. 36) . Die Reihen 11 - 20 resultieren aus einer Umkehrung der Superordnung der vorausgehenden Reihen. Aus $S_i \rightarrow S_j$ wurde $S_j \rightarrow S_i$.

Um beim Übergang vom ersten Block 1-10 auf den zweiten Block 11-20 der obigen Bedingung Genüge zu tun, ist die Aufeinanderfolge der Superreihen bei Block 11-20 etwas modifiziert (vgl. Abb. 36) .

Da das Gesamtkollektiv 40 (bzw. 60) Reihen enthalten soll, wird das Partialkollektiv 1-20 zwei bzw. dreimal wiederholt.

4. Die Überprüfung des Unabhängigkeitspostulats

Die Überprüfung der zufälligen Aufeinanderfolge der Superkontexte setzt, wie oben erwähnt, zunächst die Ermittlung der im Zeichenkollektiv effektiv auftretenden Übergangswahrscheinlichkeiten voraus ($P_{i \rightarrow j}$) .

Dies geschehe zuerst für Block 1-10 . Für jeden Super-

kontext S_i werden in der Superzeichen-Superzeichen-Matrix 2. Ordnung die entsprechenden Häufigkeitsvektoren (Matrixzeilen) aller Nachfolger S_j erstellt: Matrix SS_2 Abb. 37

Da nur innerhalb der Einzelreihen die Nachfolger berücksichtigt werden, ergeben sich für 10 Superkontexte und 10 Einzelreihen 90 Nachfolger (=Matrixsumme).

Da sich in den Zeilen der Matrix SS_2 die Häufigkeiten aller Nachfolgerkontexte S_j der Superkontexte S_i befinden, geben die Spalten der Matrix die Häufigkeiten aller Vorgängerkontexte S_i für die Superkontexte S_j an. Werden nun, wie in Block 11 - 20 die Rollen von Vorgängern und Nachfolgern in der Superordnung der Einzelreihen vertauscht, so ist die Matrix SS_2' für den Block 11-20 durch Transponierung (= Vertauschung von Spalten und Zeilen) aus SS_2 erhältlich. Werden beide Matrizen addiert, so resultiert die Nachfolgermatrix für das Partialgefüge 1 - 20, durch Verdoppelung die für das Gesamtkollektiv 1 - 40 (bzw. durch Verdreifachung die für das Kollektiv 1 - 60) (vgl.dazu Abb. 38)

Bezeichnet man die Nachfolgermatrix für Block 1-20 mit $\overline{SS}_2$, so gilt:

$$\overline{SS}_2 = SS_2 + SS_2' \quad (78)$$

Bezeichnet man die Nachfolgermatrix für Block 1 - 40 als ${}_G\overline{SS}_2$, so gilt:

$${}_G\overline{SS}_2 = 2 \cdot \overline{SS}_2 \quad (79)$$

${}_G\overline{SS}_2$ ist in Abb. 39 dargestellt.

Wäre das Gesamtkollektiv ideal zufällig hinsichtlich der Aufeinanderfolge seiner Superkontexte, so müßten die Zellenbesetzungen der Nachfolgermatrix für 1-40 nach dem Multiplikationssatz für unabhängige Wahrscheinlichkeiten errechnet werden. Die entsprechende Matrix wollen wir als ${}_G\overline{SS}_2 \text{ opt}$ bezeichnen. (Abb. 40)

Abbildung 36

Superstruktur der Reihen 1 - 20 des Zeichenkollektivs

I	I	I	II	II	III	III	IV	V	VI
III	III	II	II	I	VI	I	III	II	IV
V	III	V	IV	V	II	I	I	I	I
III	IV	IV	I	II	I	III	II	V	II
II	VI	III	III	VI	I	II	III	VI	III
III	V	VI	III	II	VI	V	V	I	III
I	I	I	I	III	III	VI	I	IV	II
I	I	I	VI	IV	II	II	I	V	II
II	IV	III	I	I	I	II	II	III	I
IV	II	III	IV	I	V	I	VI	I	I

Reihen 1 - 10 ↓

1 7 4 9 2 3 8 6 10 5

Reihen 11 - 20 ↑

12 18 15 19 14 13 11 16 20 17

Abbildung 37

Superzeichen-Superzeichen-Matrix 2. Ordnung (SS_2)

		S_j						Summe
		I	II	III	IV	V	VI	
S_i	I	8	5	5	3	3	2	26
	II	6	3	4	2	2	2	19
	III	5	4	3	2	2	2	19
	IV	3	1	2	0	1	1	8
	V	2	2	2	1	0	2	9
	VI	3	3	1	1	1	0	9
Summe		27	18	18	9	9	9	90

Abbildung 38

Konstruktion der Nachfolgermatrix für das
Zeichenkollektiv 1 - 20

$$\begin{bmatrix} 8 & 5 & 5 & 3 & 3 & 2 \\ 6 & 3 & 4 & 2 & 2 & 2 \\ 5 & 4 & 4 & 2 & 2 & 2 \\ 3 & 1 & 2 & 0 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 & 1 & 0 & 2 \\ 3 & 3 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 8 & 6 & 5 & 3 & 2 & 3 \\ 5 & 3 & 4 & 1 & 2 & 3 \\ 5 & 4 & 4 & 2 & 2 & 1 \\ 3 & 2 & 2 & 0 & 1 & 1 \\ 3 & 2 & 2 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 2 & 2 & 1 & 2 & 0 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 16 & 11 & 10 & 6 & 5 & 5 \\ 11 & 6 & 8 & 3 & 4 & 5 \\ 10 & 8 & 8 & 4 & 4 & 3 \\ 6 & 3 & 4 & 0 & 2 & 2 \\ 5 & 4 & 4 & 2 & 0 & 3 \\ 5 & 5 & 3 & 2 & 3 & 0 \end{bmatrix} \begin{array}{l} \text{Summe} \\ 53 \\ 37 \\ 37 \\ 17 \\ 18 \\ 18 \end{array}$$

Summe 53 37 37 17 18 18 180

Abbildung 39

Nachfolgermatrix für des Gesamtkollektiv

	Summe					
32	22	20	12	10	10	106
22	12	16	6	8	10	74
20	16	16	8	8	6	74
12	6	8	0	4	4	34
10	8	8	4	0	6	36
10	10	6	4	6	0	36
Summe	106	74	74	34	36	360

Abbildung 40

Matrix der Erwartungshäufigkeiten für das
Gesamtkollektiv

							Summe
	31,8	21,2	21,2	10,6	10,6	10,6	106,0
	22,2	14,8	14,8	7,4	7,4	7,4	74,0
	22,2	14,8	14,8	7,4	7,4	7,4	74,0
	10,2	6,8	6,8	3,4	3,4	3,4	34,0
	10,8	7,2	7,2	3,6	3,6	3,6	36,0
	10,8	7,2	7,2	3,6	3,6	3,6	36,0
Summe	108,0	72,0	72,0	36,0	36,0	36,0	360,0

Die Differenz ($\overline{g^{SS}_2} - g^{SS_2}_{opt}$) wird zur Grundlage für die Berechnung der Abweichung der gegebenen Superstruktur des Gesamtkollektivs von der optimalen.

Man erhält diesbezüglich einen Chi-Quadratwert von 19,0800. Bei 25 Freiheitsgraden ist die Wahrscheinlichkeit, daß bei zufälliger Sequenzauswahl eine noch geringere Abweichung von der idealen Zufallsverteilung auftritt 0.25, daß eine größere auftritt 0.75. Diese Annäherung der Superstruktur des Gesamtkollektivs an eine zufällige wird als für den vorliegenden Zweck ausreichend erachtet.

In Abb. 41 sind die drei Eingewöhnungsreihen und die Reihen 1 - 20 in ihrer Dyadenstruktur dargestellt.

Abbildung 41

Versuchskollektiv - Eingewöhnungsphase

Reihen	0 ₁	0 ₂	0 ₃
	81	49	36
	29	14	69
	72	38	58
	18	27	63
	61	52	29
	25	41	74
	96	16	41
	85	74	18
	94	63	27
	69	47	25
	47	69	61
	63	94	38
	74	85	52
	16	96	72
	41	25	16
	52	61	81
	27	18	96
	38	72	85
	14	29	94
	49	81	69
	36	92	47
	83	29	63
	58	83	92
	92	18	58
	63	49	83
	16	25	36
	69	61	49
	52	14	14
	85	36	74
	38	72	16
	74	58	41
	47	81	52
	41	92	27
	94	47	38
	27	83	81
	96	94	29
	92	49	72
	58	96	18
	83	85	61
	36	14	25

Abbildung 41 (Fortsetzung)

Versuchskollektiv - Hauptversuchsphase (Reihen 1-10)

Reihen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
92	58	83	92	14	36	92	83	53	49	
74	16	41	74	38	52	74	41	16	27	
63	47	69	63	96	94	63	69	47	85	
81	29	72	81	25	18	81	72	29	61	
83	92	14	58	36	83	83	92	58	58	
41	74	38	16	52	41	41	74	16	16	
69	63	96	47	94	69	69	63	47	47	
72	81	25	29	18	72	72	81	29	29	
49	49	58	49	92	92	83	92	36	92	
27	27	16	27	74	74	41	74	52	74	
85	85	47	85	63	63	69	63	94	63	
61	61	29	61	81	81	72	81	18	81	
83	58	92	36	58	58	36	83	92	49	
41	16	74	52	16	16	52	41	74	27	
69	47	63	94	47	47	94	69	63	85	
72	29	81	18	29	29	18	72	81	61	
58	14	92	83	83	83	14	58	83	14	
16	38	74	41	41	41	38	16	41	38	
47	96	63	69	69	69	96	47	69	96	
29	25	81	72	72	72	25	29	72	25	
83	58	14	14	83	49	49	49	83	92	
41	16	38	38	41	27	27	27	41	74	
69	47	96	96	69	85	85	85	69	63	
72	29	25	25	72	61	61	61	72	81	
92	83	83	92	58	92	92	14	92	36	
74	41	41	74	16	74	74	38	74	52	
63	69	69	63	47	63	63	96	63	94	
81	72	72	81	29	81	81	25	81	18	
92	36	58	92	58	92	92	58	14	49	
74	52	16	74	16	74	74	16	38	27	
63	94	47	63	47	63	63	47	96	85	
81	18	29	81	29	81	81	29	25	61	
58	92	92	83	92	58	36	58	92	83	
16	74	74	41	74	16	52	16	74	41	
47	63	63	69	63	47	94	47	63	69	
29	81	81	72	81	29	18	29	81	72	
36	92	49	83	92	14	58	92	36	92	
52	74	27	41	74	38	16	74	52	74	
94	63	85	69	63	96	47	63	94	63	
18	81	61	72	81	25	29	81	18	81	

Abbildung 41(Fortsetzung)

Versuchskollektiv - Hauptversuchsphase (Reihen 11-20)

Reihen	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
92	36	49	92	83	14	92	58	36	92	
74	52	27	74	41	38	74	16	52	74	
63	94	85	63	69	96	63	47	94	63	
81	18	61	81	72	25	81	29	18	81	
58	58	92	92	83	58	92	36	92	83	
16	16	74	74	41	16	74	52	74	41	
47	47	63	63	69	47	63	94	63	69	
29	29	81	81	72	29	81	18	81	72	
58	92	58	36	92	92	58	92	14	49	
16	74	16	52	74	74	16	74	38	27	
47	63	47	94	63	63	47	63	96	85	
29	81	29	18	81	81	29	81	25	61	
14	92	83	83	92	92	58	92	92	36	
38	74	41	41	74	74	16	74	74	52	
96	63	69	69	63	63	47	63	63	94	
25	81	72	72	81	81	29	81	81	18	
49	83	14	58	14	49	83	49	83	92	
27	41	38	16	38	27	41	27	41	74	
85	69	96	47	96	85	69	85	69	63	
61	72	25	29	25	61	72	61	72	81	
58	58	92	14	83	83	83	14	83	14	
16	16	74	38	41	41	41	38	41	38	
47	47	63	96	69	69	69	96	69	96	
29	29	81	25	72	72	72	25	72	25	
83	83	92	58	36	58	58	36	92	49	
41	41	74	16	52	16	16	52	74	27	
69	69	63	47	94	47	47	94	63	85	
72	72	81	29	18	29	29	18	81	61	
92	49	58	49	49	92	92	83	36	92	
74	27	16	27	27	74	74	41	52	74	
63	85	47	85	85	63	63	69	94	63	
81	61	29	61	61	81	81	72	18	81	
92	83	14	92	58	83	36	83	58	58	
74	41	38	74	16	41	52	41	16	16	
63	69	96	63	47	69	94	69	47	47	
81	72	25	81	29	72	18	72	29	29	
83	92	83	58	92	36	14	92	58	49	
41	74	41	16	74	52	38	74	16	27	
69	63	69	47	63	94	96	63	47	85	
72	81	72	29	81	18	25	81	29	61	

III. Beschreibung des Versuchsablaufs

Die Versuchspersonen erhalten über Tonband folgende Instruktion :

Im Folgenden werden Ihnen Reihen von Zahlenpaaren vorgesprochen, z.B.

81, 29, 72 usw.

Sobald eine Reihe zu Ende ist, was durch das Wort "Ende" angezeigt wird, sollen Sie die dargebotene Reihe von Zahlenpaaren, so gut Sie können, mündlich wiederholen.

Folgendes ist zu beachten :

Es werden nicht alle möglichen Kombinationen von Zahlen als Zahlenpaare verwendet. Verwenden Sie deshalb auch bei Ihrer Reproduktion nur die Zahlenpaare, die tatsächlich vorgesprochen wurden !

Der vorliegende Versuch soll nicht Ihre Lernleistung erfassen; Sie sollen deshalb auch nicht versuchen, die dargebotenen Reihen auswendig zu lernen ! Die Reihen sind überdies so lang, daß man sie nicht im Gedächtnis behalten kann.

Sie sollen vielmehr versuchen, Ihrem unmittelbaren Eindruck nach die Reihen zu reproduzieren. Achten Sie dabei nicht nur auf die einzelnen Zahlenpaare, sondern auch auf Folgen von Zahlenpaaren !

Zahlenpaare oder Folgen von Zahlenpaaren, die in der dargebotenen Reihe häufiger auftraten, sollen auch in Ihrer Reihe häufiger vorkommen, seltenere Zahlenpaare oder Folgen von Zahlenpaaren sollen auch in Ihrer Reproduktionsreihe seltener erscheinen.

Unter den Zahlenpaaren bestehen keine rechnerischen Gesetzmäßigkeiten.

Setzen Sie Ihre Reihe solange fort, bis das Kommando "Halt" ertönt !

Die Instruktion wird nach Klärung von Zwischenfragen noch einmal wiederholt. Unmittelbar danach ertönt über Tonband die erste Reihe von Zahlendyaden.

Die Zahlenpaare werden im Abstand von etwa einer Sekunde in monotoner Sprechweise dargeboten. Nach Beendigung der ersten Darbietungsfolge (bestehend aus 40 Zahlenpaaren) wird die Versuchsperson durch das Wort "Ende" dazu aufgefordert, gemäß der Instruktion zu reproduzieren. Die Länge der Reproduktionsreihe wird vom Versuchsleiter, der die Reaktionen der Versuchsperson mitnotiert, durch das Kommando "Halt" auf 20 Dyaden beschränkt. Mit dem Kommando "Halt" wird das nächste Darbietungsstadium ausgelöst usw.

Der Gesamtversuch umfaßte bei den ersten Versuchspersonen 60 Versuchsstadien, wurde dann aber auf 40 Versuchsstadien reduziert, um eine Überforderung der Versuchspersonen zu vermeiden.

Das Experiment wurde mit 17 Versuchspersonen (Studenten des Psychologischen Instituts) in Einzelversuchen durchgeführt. Die Gruppe ist hinsichtlich Alter und Intelligenz als homogen zu betrachten. Da es sich bei dem Experiment um eine Art Vorversuch handelt, schien die geringe Anzahl von Versuchspersonen ausreichend.

Ein Versuch dauerte im Durchschnitt etwa 70 Minuten. Er fand in einem zufriedenstellend gegen Außengeräusche abgeschirmten Experimentierraum statt.

IV. Gegenüberstellung von Simulationsergebnissen und empirischen Ergebnissen

Im Folgenden soll der Simulations-Output der Modelle MOD A - F mit den Reaktionen der Versuchspersonen im oben beschriebenen Experiment verglichen werden. Dieser Vergleich wird sich auf die Detektionszeitpunkte der einzelnen Superzeichen und auf die Reproduktionswahrscheinlichkeiten der Reaktionsreihen beziehen.

Es kann als sicher vorausgesetzt werden, daß für alle Versuchspersonen der Detektionsprozeß in gleicher Weise abläuft, so daß, wenn überhaupt, für alle die gleiche Modellmodifikation in Frage kommt. Bezüglich der Größe IC sind folgende vereinfachende Annahmen zu machen :

a) Die Speicherkapazität der für die Detektion zuständigen zentralnervösen Kanäle schwanke innerhalb eines Bereiches, der es bei allen Versuchspersonen gestattet, eine etwa gleiche Auswirkung auf die Größe IC anzunehmen. Da die Größe IC nur ganzzahlige Werte besitzt und somit in bestimmten durch die Veränderung der Kapazität hervorgerufenen Schwankungsbereichen der subjektiven Wahrscheinlichkeitsstruktur konstant bleiben dürfte, sollte die obige Annahme keinen großen Fehler einschließen.

b) Die Schwierigkeit des Zeichenkollektivs wird für alle Versuchspersonen als annähernd gleich gesetzt. Wie ebenfalls oben mehrfach diskutiert, kann auch die Schwierigkeit des Zeichenkollektivs über die Größe IC simuliert werden. Es kann vorausgesetzt werden, daß die für eine Versuchsperson subjektiv vorliegende Schwierigkeit des Zeichenkollektivs in mehr oder minder guter Korrelation steht zu ihrer Intelligenz.

Da alle Versuchspersonen hinsichtlich der Intelligenz etwa dem gleichen Bereich zuzuordnen sind (Intelligenzstandardwerte zwischen 110 und 120 Einheiten), kann der von der Schwierigkeit des Kollektivs auf die Größe IC wirkende Einfluß als nur in geringem Maße schwankend angenommen werden. Auch hier dürfte die Schwankung nicht ausreichen, um unter sonst vergleichbaren Bedingungen eine individuell unterschiedliche Modifikation von IC auszulösen.

Durch die Forderung a) und b) wird impliziert, daß hinsichtlich der Größe IC für alle Versuchspersonen in etwa die gleichen Simulationsvoraussetzungen bestehen.

Dies wiederum gestattet die Folgerung, daß alle Versuchspersonen der gleichen IC-Variante einer Modellmodifikation zuzuordnen sind.

Alle Versuchspersonen müßten demnach in ihrer Detektionsleistung um eine fiktive Detektionskennlinie schwanken, ebenso um einen fiktiven Gesamtreaktionsvektor hinsichtlich der vergleichbaren Reaktionseinheiten.

c) Abweichungen von diesem fiktiven Detektionsverlauf werden als durch nicht genauer definierte Störvariable verursacht betrachtet, die sich in ihrer Wirkung auf die Detektionsleistung und die Reproduktionsleistung über die Versuchspersonengruppe hin annähernd neutralisieren, d.h. die Störvariablen erzeugen hinsichtlich der Detektionszeitpunkte wie auch hinsichtlich der Reproduktionswahrscheinlichkeiten in beide Abweichungsrichtungen quantitativ in der gleichen Größenordnung liegende Veränderungen, die durch einfache arithmetische Mittelung eliminierbar sind.

Sicher ist, daß durch diese Annahme generell ein Fehler impliziert wird, denn die Detektionsleistungen sind, als komplexes Systemgeschehen nicht additiv. Im vorliegenden Simulationsstadium besitzt jedoch das Detektions-

modell noch keine auf interindividuelle Differenzen ansprechenden Parameter, so daß beispielsweise die Leistung einer ganzen Versuchspersonengruppe simulierbar wäre. Um das in diesem Bereich noch unflexible Detektionsmodell hinsichtlich der Brauchbarkeit seiner Varianten empirisch prüfen zu können, ist es einer fiktiven, von interindividuellen Schwankungen möglichst freien Detektionsleistung gegenüberzustellen. Wenn die arithmetische Mittelung auch ein prinzipiell falscher Weg zur Konstruktion dieser Idealperson ist, so dürfte die durch sie bewirkte Näherung an den wahren Detektionsverlauf doch eine bessere Schätzung sein, als die Werte einer beliebigen Versuchsperson, da zu vermuten ist, daß die gesuchte fiktive Detektionslinie irgendwo im Detektionsbereich der untersuchten Gruppe liegt.

Der Fehler, der also durch diese Annahme in die Auswertung des Experiments gelangt, ist in seiner Größe schlecht abschätzbar. Er dürfte jedoch umso geringer sein, je weniger komplex das Detektionsgeschehen ist, ideal gering, wenn z.B. nur ein Superzeichen erkannt wird.

Die fiktive Detektionsleistung der Versuchspersonengruppe wird also dem Vergleich mit allen Modellvarianten zugrundegelegt. Sie wird erhalten durch die arithmetische Mittelung der Detektionskennwerte für die einzelnen Superkontexte, sowie durch die Mittelung der Auftrittshäufigkeiten der zu vergleichenden Zeichen über alle Versuchspersonen.

Die Güte der Anpassung von Modellwerten und empirischen Werten wird bezüglich der Reproduktionshäufigkeiten über die Chi-Quadrat-Funktion erfolgen. Dieses Verfahren wäre zwar nicht als Test für die empirische Prognoseleistung der Modelle geeignet, wohl aber für den Vergleich der Modellmodifikationen untereinander

hinsichtlich ihrer empirischen Relevanz auf der derzeitigen Simulationsstufe.

(Der "statistische Abstand" zwischen Modell und Empirie, beispielsweise zur Feststellung einer etwaigen "Anpassungssignifikanz" des Modells, sollte nicht über Mittelwerte, sondern über die Häufigkeitssummen der Versuchspersonengruppe errechnet werden !)

Der Vergleich der Detektionskennwerte von Modell und fiktivem Detektionssystem beschränkt sich auf die Gegenüberstellung der Modellwerte und der aufgrund der empirischen Ergebnisse erhaltenen entsprechenden Konfidenzbereiche.

Wird nun aufgrund dieser Vergleiche eine Modellvariante mit einem minimalen Chi-Quadratwert und einer zufriedenstellenden Übereinstimmung der Detektionskennlinien gefunden, so erfordern es die obigen Annahmen, daß der IC-Wert dieser Variante als Funktion der durchschnittlichen Speicherkapazität der Versuchspersonen, der durchschnittlichen Schwierigkeit des Zeichenkollektivs und der durchschnittlichen Größe der kritischen Informationsdistanz bei den Versuchspersonen anzusehen ist. Die Abweichung von Modell und Empirie hingegen ist allein als Wirkung der unbekannten Störvariablen definiert, welche es gilt durch weitere Simulationsdifferenzierungen kontrollierbar zu machen.

Daraus geht hervor, daß die dem Vergleich zugrundegelegten Annahmen nicht nur zur Erstellung einer fiktiven Detektionsleistung herangezogen werden, sondern darüberhinaus als Arbeitshypothesen für weitere Untersuchungen anzusehen sind. Ihre Berechtigung wird also erst künftig zu erweisen sein. Es ist jedoch zu hoffen, daß das geschilderte Verfahren zur Selektion optimaler Modellmodifikationen trotz aller Fehlerquellen ausreichend valide ist, d.h. mit Hilfe des fiktiven Detektionssystems sollte es wenigstens möglich sein, aus den theoretisch deduzierten Abwandlungen

des Detektionsablaufs diejenige herauszufinden, die auf der vorliegenden Simulationsstufe den tatsächlichen Prozeß am besten beschreibt. Dies ist identisch mit der Vermutung, daß die durch das eventuelle Nichtzutreffen der Annahmen a) bis c) hervorgerufene Abwandlung in der fiktiven empirischen Detektionsleistung in einem engeren Bereich stattfindet als die zwischen den einzelnen Modellmodifikationen bestehenden Differenzen.

Aus den Tabellen 15 - 18 geht hervor, daß eine solche Vermutung sicherlich für die Unterscheidung der Modellgruppen A-D-E und B-C-F berechtigt erscheint, innerhalb dieser Gruppen jedoch schwierig sein dürfte.

Die Entscheidung zwischen den genannten Gruppen hinsichtlich ihrer empirischen Brauchbarkeit auf der derzeitigen Simulationsstufe kann also eine gewisse Sicherheit beanspruchen.

2. Die Auswertung der experimentellen Daten

Die Auszählung der Reproduktionshäufigkeiten :

Wie es durch die Struktur des Zeichenkollektivs nahegelegt wird, erfolgte die Auszählung zunächst nach den Dyaden, die in den Zeichenreihen vorgegeben waren. Es wurden nur diejenigen Dyaden ausgezählt, die tatsächlich auch dargeboten wurden, also keine anderen Kombinationen. Dabei stellte es sich heraus, daß auch in den Initialreihen des Versuchs alle Versuchspersonen nahezu ausnahmslos nur diejenigen Dyaden reproduzierten, die tatsächlich vorgegeben waren. - Die Reihen der Eingewöhnungsphase wurden nicht mitgezählt.

Die ausgezählten Dyadenhäufigkeiten können direkt mit den Modellreaktionen verglichen werden. Um jedoch die bei eventueller Detektion zunehmenden Abhängigkeiten der jeweils zu einem idealen Superkontext gehörenden Dyaden nicht zu vernachlässigen, erfolgt der Dyadenvergleich

nur bezüglich der den Superkontexten entsprechenden Dyadengruppen. (Vgl. Programm AKKOMMOD , Anhang).

Ein auf diese Weise durchgeführter Vergleich der Modellmodifikationen auf ihre empirische Relevanz hin erbrachte kein für die Selektion bestimmter Modifikationen brauchbares Resultat. Für alle Modifikationen wurden hohe Abweichungswerte (Chi-Quadrat) gefunden. Die Ursache dafür dürfte in der Schwierigkeit des Experiments zu suchen sein.

Wie bei der Konstruktion des Zeichenkollektivs ausführlich dargestellt, wurde in der Absicht, den Detektionsvorgang in seinen einzelnen Stadien deutlicher hervortreten zu lassen, um den Detektionsverlauf zu spreizen, die Verwechselbarkeit der Zeichen durch Verwendung identischer Ziffern heraufgesetzt. Die Schwierigkeit des Detektionsgeschehens wird dadurch zweifellos gesteigert. Bei der Vergegenwärtigung der Zeichenreihen durch die Versuchspersonen und vor allem bei der Reproduktion der Reihen könnten dadurch jedoch außer dieser Detektionserschwerung auch noch detektionsrelevante Faktoren angesprochen werden, die die Detektionsleistung überlagern. Um die Auswertung des Experiments nicht noch mit weiteren Annahmen zu belasten, sollten nun jene eventuellen Einflüsse eliminiert werden, indem die Auswertung der Reaktionen nur die Häufigkeiten der Elemente (=Ziffern) beachtet und somit die Reihenfolge bei der Zusammensetzung der Dyaden vernachlässigt.

Daraus folgt, daß nur jene Ziffern des Zeichenkollektivs beim Vergleich mit den Simulationsmodellen berücksichtigt werden dürfen, die in allen Superkontexten vorkommen; nur für diese bestehen gleiche Verwechslungsmöglichkeiten bei der Reproduktion. Es handelt sich dabei um die Ziffern 1,2,4,6,8,9 .

Würde keine Detektion erfolgen, so müßte für die diesen

Ziffern entsprechenden Häufigkeiten natürlich Gleichverteilung angenommen werden. Das Gleiche würde allerdings auch geschehen, wenn neben den Dyaden nur vollständige Superkontexte reproduziert würden. Nur im Falle einer Detektion von partiellen Sequenzen der Idealstruktur könnten Abweichungen von der Gleichverteilung auftreten. Der Vergleich der Ziffernstruktur sollte in jedem Fall durch eine Auswertung von eventuellen Sequenzwiederholungen ergänzt werden.

Da in den Reproduktionsreihen der Versuchspersonen nur Dyaden verwendet wurden, die in der Struktur des dargebotenen Zeichenkollektivs tatsächlich auftreten, kann die Ziffern-Dyaden-Matrix (Abb. 35) direkt dazu verwendet werden, um aus den von den Versuchspersonen bzw. den Modellen reproduzierten Dyadenstrukturen die entsprechenden Ziffernstrukturen zu erhalten (Programm AKKOMMOD).

Für den Vergleich der einzelnen Modellvarianten mit den empirischen Ergebnissen über das Programm AKKOMMOD konnte die Modellgruppe A-D-E bereits ausgeschlossen werden, da, wie später dargestellt wird, die Detektionsleistung dieser Gruppe der empirischen nicht annähernd entspricht.

Vergleicht man die über die Ziffernstruktur der Reproduktionen erhaltenen Chi-Quadrat-Werte der restlichen Modellvarianten miteinander, so resultiert ein deutliches Minimum bei den Modellmodifikationen B und C mit einem IC-Wert von jeweils 5 . Auch die Variante F(5) liegt nahe an diesem Minimum.

Um die Unterschiede in der Anpassungsgüte zwischen den einzelnen Modellmodifikationen bzw. ihren IC-Varianten zu veranschaulichen wurden in Darstellung 42 die Anpassungswerte der einzelnen Modellvarianten (entspricht Chi-Quadrat) dem optimalen Anpassungswert des Modells B (IC=5) gegenübergestellt.

Tabelle 20

Vergleich der empirischen und der Modellhäufigkeiten B(5) und C(5)

Elemente	Häufigkeiten		Empirie
	Modell B(5)	Modell C(5)	
1	200.5720	200.6120	194.8824
2	200.4740	200.4406	200.1176
4	199.0880	199.0940	199.3529
6	199.5680	199.5580	191.3529
8	200.8560	200.8920	202.5294
9	199.0400	199.0220	186.2941
Rest	400.3740	400.3460	418.1764

Chi-Quadrat 2.2775 2.2823

Wahrsch. .10 .10

Abbildung 42

Vergleich der Anpassungsgüte für die Modellmodifikationen B,C und F für IC-Werte von 3 - 5

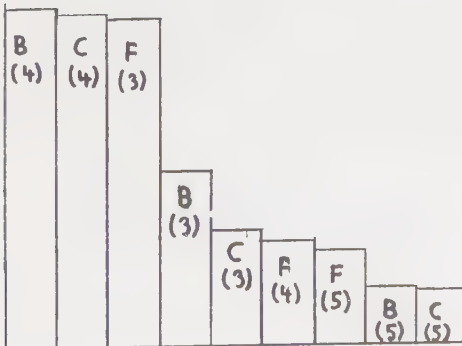


Tabelle 20 enthält für die Modellmodifikationen B und C ($IC=5$) die Häufigkeitsstruktur der Elemente 1,2,4,6,8,9 und im Vergleich dazu die entsprechenden Häufigkeitsswerte der fiktiven Durchschnittsperson. Die Tendenz zur Gleichverteilung ist bei allen Strukturen deutlich sichtbar ! Die neben den Modellvarianten eingetragenen Chi-Quadratwerte charakterisieren die Abweichung der empirischen Werte von den antizipierten Modellwerten. Beide Chi-Quadratwerte liegen in einem Bereich von 10 Prozent über dem idealen Anpassungswert von Chi-Quadrat gleich Null. D.h., daß nur noch 10 Prozent aller zufällig entstandenen Abweichungen von der erwarteten Struktur geringer sind als die empirisch gefundenen. Dies berechtigt jedoch noch zu keinem Schluß bezüglich der Detektionsleistung der Versuchspersonen, denn, wie oben schon erwähnt, würde auch bei zufälliger Reproduktion der Dyaden ein ähnliches Ergebnis eintreten können.

Es wäre also noch zu überprüfen, ob die Detektionsleistung der Versuchspersonen, besser gesagt der fiktiven Durchschnittsperson, in Einklang steht mit der durch die Modelle B(5) und C(5) postulierten. Aus den Detektionstabellen für die Modellmodifikationen (Tab. 16-17) ist ersichtlich, daß bei einem IC-Wert von 5 durch Modell B und C nur das häufigste Superzeichen ABCD (entspricht im Experiment 92 74 63 81) detektiert wurde und zwar bei Modifikation B im achten und bei Modifikation C im siebten Versuchsstadium.

Die zusätzliche Auswertung der Detektionsleistung der Versuchspersonen erfolgte nur für die idealen Superkontexte. Dabei mußte natürlich, ebenfalls wie bei der Erstellung der Elementstruktur der Reproduktionsreihen, die Verwechselbarkeit der Dyaden mit in Betracht gezogen werden. Dies durfte aber die eindeutige Unterscheidbarkeit der Superkontexte nicht ge-

fährden. Als diesen Kriterien genügend erwies sich folgende Definition für die Detektion eines der apriori vorgegebenen Superkontexte :

Ein Superkontext gilt dann als erkannt, wenn alle ihn bildenden Dyaden in unmittelbarer Aufeinanderfolge wiederholt reproduziert werden. Die Reihenfolge der Dyaden sowie die dyadeninterne Reihenfolge der Ziffern ist dabei beliebig. Die Anzahl der Wiederholungen wurde nach unten hin auf 3 begrenzt und zwar in den 10 der Detektion folgenden Versuchsstadien (Begründung siehe unten !).

Diese experimentbezogene Operationalisierung der Detektion entspricht der Vorstellung, daß der Reproduktion eines bereits detektierten Superkontextes die Vergewärtigung des ihn konstituierenden Zeichenrepertoires im Kurzspeicher vorausgeht. Die Reproduktion aus diesem Repertoire erfolgt anfangs zufällig, mit zunehmender Wiederholungszahl jedoch den Reizgegebenheiten entsprechend. Daß Detektion und perfekte Reproduktion nicht zusammenfallen ist durch die Schwierigkeit des Versuchs genügend erklärt.

Durch die Operationalisierung ist andererseits auch gewährleistet, daß ein detektierter Superkontext genügend unterscheidbar ist von zufällig zustandegekommenen Sequenzen. Der Beweis dafür soll nur für den häufigsten Superkontext geführt werden, da für alle selteneren ohnehin geringere Wahrscheinlichkeiten für zufälliges Auftreten anzusetzen sind.

Der häufigste Superkontext 92 74 63 81 kann bei der Reproduktion aus Dyaden bestehen, die folgende Auftrittswahrscheinlichkeiten besitzen :

92	74	63	81
0.0750	0.0750	0.0750	0.0750

29	47	36	18
0.0500	0.0500	0.0500	0.0500

Der die Detektion des obigen idealen Superkontextes indizierende Kontext kann nach den Auswertungsvorschriften auf $2^4 = 16$ verschiedene Arten bezüglich der Dyadenzusammensetzung und auf $4! = 12$ verschiedene Arten bezüglich der Reihenfolge der Dyaden entstehen.

Die Wahrscheinlichkeit für jede dieser Konstellationen richtet sich nach der Einzelwahrscheinlichkeit der beteiligten Dyaden. Zur Schätzung genügt es, die durchschnittliche Wahrscheinlichkeit P_0 einer beliebigen Konstellation als den Mittelwert des maximalen und des minimalen Wahrscheinlichkeitsprodukts anzunehmen. P_0 ergibt sich als 0.000017, die Gesamtwahrscheinlichkeit als 0.0065 (= Wahrscheinlichkeit des zufälligen Auftretens eines Detektionsindikators).

Bei den 800 durch die Versuchspersonen reproduzierten Kontexten 4. Ordnung entspräche das einer zufälligen Auftrittshäufigkeit des Detektionsindikators von etwa 5.

Man kann jedoch auch annehmen, daß der Superkontext 92 74 63 81 und seine detektionsindizierenden Varianten nicht durch die zufällige Aufeinanderfolge von Einzeldyaden, sondern von bereits detektierten Dyadenzweier- bzw. -dreiergruppen zustandekomme. In allen jenen Fällen, die bereits eine partielle Fixierung der Reproduktion auf bestimmte Sequenzen fordern, wären aber die Möglichkeiten für die zufällige Variation und damit das zufällige Zustandekommen des Detektionsindikators gegenüber der Reproduktion der Einzeldyaden eingeschränkt. Die oben berechnete Wahrscheinlichkeit darf daher als maximal für das zufällige Zustandekommen des Detektionsindikators für 92 74 63 81 angenommen werden.

Dieser Wahrscheinlichkeitswert muß auch insofern als obere Grenze betrachtet werden, als seiner Berechnung die wahrscheinlich falsche Voraussetzung einer Reproduktion nach den objektiv gegebenen Auftretshäufigkeiten der Dyaden zugrundeliegt. Würde man gemäß den Voraussetzungen des Modells eine entropieproportionale Reproduktion erwarten, so reduzierten sich die Reproduktionshäufigkeiten der häufigeren Dyaden und damit auch der maximale Wahrscheinlichkeitswert für das zufällige Auftreten des Detektionsindikators für 92 74 63 81 !

Akzeptiert man also den Wert 5 für die zufällige Reproduktion einer detektionsindizierenden Variante des häufigsten Kontextes bei 800 Dyadenreproduktionen, so wäre folgender Schwankungsbereich dieses Wertes anzugeben :

Für den Gesamtversuch würde dieser Wert mit einer Vertrauenswahrscheinlichkeit von 0.95 zwischen 1 und 10 schwanken; aus Gründen der Auswertungsökonomie soll jedoch nach jeder Detektion nur ein Bereich von 10 Reproduktionsreihen einschließlich der Detektionsreihe ausgezählt werden. Für einen solchen Bereich von 200 möglichen Sequenzen der Länge des Superkontextes reduziert sich der obige Wert auf 1 und schwankt zwischen 0 und 2 . Die Überzufälligkeit der Reproduktionen des fraglichen Superkontextes dürfte erwiesen sein, wenn dieser in den 10 auszuzählenden Reihen häufiger als 2 mal zu finden ist.

Die Auswertung der Detektionen ergibt zunächst, daß durchgehend bei allen Versuchspersonen nur der Superkontext ABCD bzw. 92 74 63 81 erkannt wurde. Von den anderen Superkontexten wurden zwar manche gefunden, jedoch nicht von allen Versuchspersonen, so daß Detektionskennwerte nicht fixierbar sind. Die selteneren Superkontexte wurden nur vereinzelt reproduziert.

In Tabelle 21 sind die Detektionsindikatoren für ABCD mit den Versuchsstadien ihres Auftritts für alle Versuchspersonen zusammengestellt. Der Tabelle ist außerdem die Häufigkeit der Reproduktion von ABCD in den der Detektion folgenden 10 Versuchsstadien zu entnehmen. Diese Häufigkeiten liegen durchwegs, teilweise erheblich, über der für den Zufallsschwankungsbereich angegebenen Grenze !

Bezüglich der Detektionsindikatoren läßt sich natürlich einwenden, daß sie das jeweils erste Glied einer Reihe von Reproduktionen des Superkontextes ABCD darstellen, von dem nicht mit Sicherheit angenommen werden kann, daß es seine Entstehung einer Detektion verdankt. Dem könnte jedoch entgegengehalten werden, daß es ebensowenig sicher sei, daß die Detektion nicht schon vor diesem Zeitpunkt erfolgt sei. Die Schwierigkeit des Versuchs macht es durchaus wahrscheinlich, daß die Detektion sich nicht sofort in eindeutig fixierbarer Weise in den Reaktionen niederschlägt. Es ist deshalb gerechtfertigt, die Detektionsindikationen als vorläufig ausreichende Kompensation beider Fehler anzunehmen.

Der Mittelwert aller Detektionskennwerte liegt bei 8,8 (Versuchsstadien) mit einer Standardabweichung von 6,5. Schätzt man den Vertrauensbereich für einen entsprechenden Populationsdurchschnitt, so resultiert, daß dieser Wert mit einer Wahrscheinlichkeit von 0.95 zwischen 6 und 12 einschließlich liegen müßte, d.h. bei einer großen Anzahl von Versuchspersonen sollte die Detektion des Superkontextes ABCD im gleichen Experiment zwischen dem 6. und 12. Versuchsstadium erfolgen. Dieses Ergebnis entspricht in etwa den

Tabelle 21

Detektionsindikatoren

Versuchs- person	Detektionsindikator	Häufigkeit in 10 Stadien nach der Detektion
1	92 74 81 63	5
2	74 63 81 92	3
3	29 74 63 81	5
4	47 29 63 81	3
5	92 74 63 81	12
6	36 47 92 81	5
7	92 74 63 81	8
8	92 74 81 36	4
9	92 81 74 63	9
10	74 29 81 63	3
11	81 74 92 63	5
12	92 74 63 81	20
13	92 63 81 74	11
14	92 47 81 36	5
15	29 74 63 81	4
16	92 47 63 81	3
17	92 74 36 81	5

Modellantizipationen der Modelle B (IC=5) und C (IC=5).

Selbst wenn man alle Schwächen und Imponderabilien des Experiments einbezieht, dürften die gefundenen Übereinstimmungen der Modelle B und C mit den experimentellen Ergebnissen eine gewisse empirische Relevanz des Detektionsmodells nachweisen. Es war nicht das Ziel dieser Arbeit, bereits auf der vorliegenden Simulationsstufe des Modells eine optimale Approximation an die empirischen Gegebenheiten zu erreichen. Der im Augenblick noch geringe Flexibilitätsgrad des Modells erforderte es vielmehr, deduktiv gefundene Modellmodifikationen in einem Bereich zu erproben, innerhalb dessen differenziertere und hinsichtlich der verschiedenen Modellparameter möglichst einschlägige Untersuchungen durchzuführen sind. Das für diese Erprobung nötige Vorexperiment sollt aus Ökonomiegründen eine Art Rangordnung unter den verschiedenen Modellmodifikationen hinsichtlich ihrer Relevanz für diesen Untersuchungsbereich herstellen (vgl. Untersuchungsplan !). Es mußte daher global angelegt sein und das Variablenbündel des Bereichs in etwa durchschnittlicher Komplexität widerspiegeln, während in späteren Versuchsreihen eine systematische Variation der Variablen vorgesehen ist (z.B. Gesamtentropie, Anzahl der Superkontexte, Länge der Superkontexte usf.).

Durch den Ausgang des Experiments erhielten nun für künftige Untersuchungen der gleichen Simulationsstufe die Modifikationen B und C des "molekularen" Detektionsgeschehens erhöhtes Gewicht. Durch diese Modifikationen wird, wie bei der Besprechung der Simulationen bereits erörtert, die "synthetische Funktion" der Superzeichendetektion in den Vordergrund gerückt, d.h. von Sequenzen aller möglicher Ordnungen, die der Bedingung der kritischen Informationsdistanz genügen, werden diejenigen mit höherem Ordnungsgrad bevorzugt.

Z u s a m m e n f a s s u n g d e s e x p e r i - m e n t e l l e n T e i l s

Um die deduktiv gefundenen Modifikationen des Detektionsmodells hinsichtlich der "molekularen" Vorgänge bei der Detektion besser auf ihre empirische Relevanz hin abschätzen zu können, wurde das dem konkreten Simulationsmodell zugrundegelegte Zeichenkollektiv in einem dem Modell entsprechenden Experiment erprobt. Die Versuchspersonen wurden instruiert, das sukzessiv akustisch dargebotenen Zeichenkollektiv (Zifferndyaden) so gut wie möglich nach jedem Versuchsstadium zu reproduzieren. Ein Vergleich der experimentellen Ergebnisse mit den Modellreaktionen ergab für die Modellmodifikationen B und C erhöhte empirische Relevanz. Es handelt sich dabei um Derivate des Detektionsmodells, die die "synthetische Funktion" der Superzeichendetektion in den Vordergrund rücken.

- 9) FRANK Helmar Kybernetische Grundlagen der
Pädagogik, Band I und II
Agis, Baden-Baden 1969, 2. Aufl.
- 10) GEHLEN Arnold Der Mensch
Athenäum, Frankfurt/Main-Bonn
1962
- 11) GEHLEN Arnold Die Seele im technischen
Zeitalter
Rowohlt, München 1957
- 12) GRAUMANN Carl-Friedrich (Herausgeber)
Denken
Kiepenheuer und Witsch
Köln - Berlin 1965
- 13) GOLDEN James T. Programming and Computing
Prentice -Hall, Inc.
Englewood Cliff's
New Jersey 1965
- 14) ITELSON Lew Mathematische und kyberne-
tische Methoden der Pädagogik
Volk und Wissen
Berlin 1967
- 15) KLAUS Georg Kybernetik und Erkenntnis-
theorie
Deutscher Verlag der Wissen-
schaften, Berlin 1962
- 16) KLIER J.-VALACH M. Cybernetic Modelling (engl.
Übersetzung v. Parel Dolun, 66)
Iliffe Books Ltd.
London -Prag 1967

- 17) KOCH Manfred Gedanken und Gedankenerinnerungen
in: Handbuch der Psychologie
Band I/2 (siehe oben)
- 18) MEYER-EPPLER W. Grundlagen und Anwendungen
der Informationstheorie
in: Handbuch der Psychologie
Band I/2 (siehe oben)
- 19) MÜLLER Kurt Denken und Lernen als Organisieren
in: Handbuch der Psychologie
Band I/2 (siehe oben)
- 20) PIAGET Jean Psychologie der Intelligenz
Rascher, Zürich 1947
- 21) POLETAJEV I. A. Kybernetik (Übers. : Klaus)
Deutscher Verlag der Wissenschaften
Berlin 1962
- 22) PORTMANN Adolf Zoologie und das neue Bild
vom Menschen
Schwabe, Basel 1951
- 23) RENSCH B. DÜCKER G. Biologie II (Zoologie)
Fischer, Frankfurt 1963
- 24) REZA-FAZIOLLAH M. An Introduction to Information
Theorie
Mc Graw Hill, New York 1961
- 25) RONRACHER Hubert Einführung in die Psychologie
6. Auflage
Urban und Schwarzenberg
Wien-Innsbruck 1958

- 26) STACHOWIAK Herbert
Denken und Erkennen
im kybernetischen Modell
Springer, Wien-New York
1965
- 27) STEINBUCH Karl
Automat und Mensch
Springer, Heidelberg 1961
- 28) SPIEGEL Murray R.
Theory and Problems of
Statistics
Schaum Publishing Co.
New York 1961
- 29) TEMBROCK Günter
Verhaltensforschung
Fischer, Jena 1961
- 30) TOMAN Walter
Kleine Einführung in die
Psychologie
Wissenschaftliche Buch-
gesellschaft, Darmstadt
1968
- 31) WIENER Norbert
Mensch und Menschmaschine
Metzner, Frankfurt/Main
1952

A F U A N G

M O D I F I K A T I O N E N A - D

BASISSTRUKTUR

am Beispiel von Modell C

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

PROGRAM MODC
C   APPERZEPTION VON SEQUENZEN VIERTER ORDNUNG NACH DEM MAXIMUM DER
C   SEQUENZENTROPIE
C   SPALTENEXTRAKTION
CHARACTER Y
CHARACTER LX,LXU
CHARACTER M,Z
COMMON KSEG,KE(7)
COMMON LX(800),LSA(1800),LEZA(800)
COMMON INFA1(800),IFDA(800),LXX(800)
COMMON KCC
EQUIVALENCE (LX,LXU)
DIMENSION M(30),IFDA1(800)
DIMENSION ERWA(300),WA(45,30)
DIMENSION LX(800),LXU(800),LSA(1800),LEZA(800)
DIMENSION INFA1(800),IFDA(800)
READ(60,4)KCC
4  FORMAT(I5)
   READ(60,1) (LXU(I),I=1,800),KOMAX,NV,NVL,IC
1  FORMAT (10(80A1)/4I6)
   READ(60,2) (M(MK),MK=1,24),MKK,Z
2  FORMAT (74A1,I5,A1)
   PRINT 1012,IC
1012 FORMAT (10X,21HSUPERZEICHENDETEKTION//10X,15HENTROPIENISTANZ,
11X,3HIC=,I3//)
   KMOD=3
   PUNCH 8000,KMOD,IC
8000  FORMAT (2I5/)
   LVFC = 0
   KSEG = 0
3000  KSEG=KSEG+1
   IF (KSEG-1) 3070,3075,3071
3070  CONTINUE
   REWIND 12
3071  CONTINUE
   NVVL=NV/NVL
   IF (KSEG-1) 3010,3010,3011
3011  IMI=21
   NL=2*NVVL
   GO TO 3012
3010  IMI = 1
   NL=NVVL
3012  CONTINUE
   DO 90 IM=IMI,NL
   REWIND 10
   REWIND 9
   PRINT 1011,IM
1011  FORMAT (10X,15HVERSUCHSSTADIUM,I4//)
   IF (KSEG-1) 6010,6010,6011
6011  N=(IM-20)*NVL
   GO TO 6012
6010  N=IM*NVL
6012  CONTINUE
   KOX=KOMAX-1

```

```

      NMAX=N-KOX
      IF (NMAX-40) 9001,9001,9002
9001 READ(60,9000)Y
9000 FORMAT (A1)
9002 CONTINUE
      IF (IM-1)500,500,501
500 DO 998 IS=1,KOMAX
      DO 92 I=1,1600
92 LSA(I)=0
998 WRITE(12) (LSA(I),I=1,1600)
501 CONTINUE
      DO 91 I=1,N
91 LX(I)=LXU(I)
      PRINT 3002,(LX(I),I=1,N)
3002 FORMAT (10X,80A1)
      IF (IM-1) 93,93,95
93 LAZ=NMAX
95 CALL PRAEHUFF (NMAX,LAZ,KOMAX)
      DO 2003 MK=1,MKK
2003 WA(IM,MK)=0.
      WASEM=0.
      WASUM=0.
      DO 101 IS=1,KOMAX
      ERWAS=0.
      CALL HUFFCODE (M,MKK,NMAX,KOMAX,IS,N,ERWA)
      WRITE (10) (INFA1(I),I=1,NMAX)
      DO 2002 MK=1,MKK
      WA(IM,MK)=WA(IM,MK)+ERWA(MK)
      IF (IS-KOMAX) 3111,3112,3112
3112 WASUM=WASUM+WA(IM,MK)
3111 CONTINUE
      ERWAS=ERWAS+ERWA(MK)
2002 CONTINUE
      IF (ERWAS) 3121,3121,3122
3121 PRINT 3123,15
3123 FORMAT (///10X,17HNULL KONTEXTVEKTOR,1X,3HAUF,1X,3HDEM,1X,
      *6HUNTEAU,1X,13)
3122 IF (IS-KOMAX) 3117,3120,3120
3120 IF (WASUM-1) 3114,3117,3117
3114 DO 3115 MK=1,MKK
      WA(IM,MK)=WA(IM,MK)+(WA(IM,MK)/WASUM)*(1-WASUM)
3115 WASEM=WASEM+WA(IM,MK)
3117 CONTINUE
      IF (IS-KOMAX) 4111,4112,4112
4112 PRINT 2996
2996 FORMAT (///10X,17HDURCHSCHNITT LICHE,
      310X,27HWAHRSCHF INLICHE ITSSTRUKTUR,1X,3HDER,1X,12HELEMENTREIHE///)
      PRINT 2991,(WA(IM,MK),MK=1,MKK)
2991 FORMAT (10X,12F10.4/)
      PRINT 2997
2997 FORMAT (///20X,14HKONTROLL SUMMEN)
      PRINT 2998,WASUM
2998 FORMAT (20X,F10.4)
      PRINT 2999,WASEM

```

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

2993 FORMAT(20X,F10.4)
      PUNCH R001,(WA(IM,MK),MK=1,MKK)
8001 FORMAT (3(BF10.4/))
4111 CONTINUE
      DO 111 MK=1,MKK
111  EPWA(MK)=0.
      IF (IS=2) 101,103,103
103  BACKSPACE 10
      BACKSPACE 10
      CALL ICOMP (IC,IS,NMAX)
101  CONTINUE
      PRINT 1010
1010 FORMAT (////10X,9HDETEKTION,1X,4HNACH,1X,14HSPALTENMAXIMUM,1H
23HDER,1X,15HSEQUENZENTROPIE//)
      CALL NFTEKTA (IFDA1,LAZ,K0MAX,NMAX,Y,LVEC)
      IF (KSEG=1) 3001,3001,3005
3005 LAZ=800+NMAX
      GO TO 3006
3001 LAZ=NMAX
3006 CONTINUE
      IF (LVEC=24) 90,90,3030
90  CONTINUE
      IF (KSEG=1) 3020,3020,3030
3020 GO TO 3000
3030 CONTINUE
      PRINT 3031
3031 FORMAT (////40X,21HSUPERZEICHENDETEKTION,2X,7HHEENDET//40X,
74HMODC,X,4HENDE)
      END

```

FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR MODC

ERRORS

DC P 11307 C 12131 D 00000

```

SUBROUTINE HUFFCODE(EM,MKK,LL,KOMAX,IIS,NV,ERSUM)
CHARACTER KLE
CHARACTER JLXX,EM
REAL INB1,LHB
COMMON KSEG,KE(7)
COMMON JLXX(800),LSA(1200),LEZA(800)
COMMON INFLY(800),IFDA(800),LXX(800)
COMMON KCC
DIMENSION KE(7),KLE(800),KLH(800)
DIMENSION INB1(400)
DIMENSION EM(30)
DIMENSION LY(800),LE(400),LH(400)
DIMENSION LHB(400),LEH(400),INB(400),LY1(800),M(30),JLXX(800)
DIMENSION LXX(800),LSZ(800),LCR(400)
DIMENSION INFLY(800),ERW(400),ERSUM(30),IRSUM(30)
DIMENSION WHB(400)
EQUIVALENCE (LXX,LY1,KLE),(LY,LEZA,KLH,LSZ)
EQUIVALENCE (LCR,LH),(LE,LEH)
DO 424 MK=1,MKK

```

```

424 M(MK)=EM(MK)
IF(IIS-1)127,127,120
127 REWIND 13
120 READ (13)(LY(IX),IX=1,LL)
DO1 J=1,400
LF(J)=0
1 LH(J)=0
J=0
DO 55 L=1,LL
55 LY1(L)=LY(L)
DO 91 L=1,LL
IF(LY1(L))4,91,4
4 J=J+1
LF(J)=LY(L)
DO5 L1=1,LL
IF(LY(L)-LY1(L1))5,70,5
70 LY1(L1)=0
LH(J)=LH(J)+1
5 CONTINUE
91 CONTINUE

```

SEQUENZHÄUFIGKEITEN

```

K=J
PRINT 610,IIS
610 FORMAT (//////10X,9HSEQUENZEN,1X,I3,1H.,1X,7HORDNUNG//)
PRINT 611,(LE(J1),J1=1,K)
611 FORMAT (10X,20I5/)
IF(KSEG-1)2902,2902,2905
2905 KFK=KE(IIS)
READ(9)((KLE(J2),J2=1,KEK),(KLH(J2),J2=1,KEK))
DO 2907 J4=1,KEK
DO 2907 J5=1,K
IF(LE(J5)-KLE(J4))2907,2908,2907
2908 LH(J5)=LH(J5)+KLH(J4)
2907 CONTINUE
GO TO 2901
2902 IF(NV=800)2901,2900,2900

```

INFORMATIONSTRUKTUR

FORTRAN (3,1)/MASTER

```

2900 KF(ITS)=K
      WDJTE(9)((LE(J1),J1=1,K),(LH(J1),J1=1,K))
2901 K2=K
      IF(K=1)4900,4900,4901
4900 DO 4910 L=1,LL
4910 INFLY(L)=0.
      DO 4911 MK=1,MKK
4911 ERSUM(MK)=0.
      PRINT 4921,IIS
4921 FORMAT (40X,11HSINGULAREPES,JX,7HELEMENT,1X,3HHAUF,1X,3HDEM,1X,
13HKONTEXTINVEAU,15/40X,13HENTROPIE=NULL)
      GO TO 2000
4901 CONTINUE
      DO 124 IX=1,NV
124 LXX(IX)=JLXX(IX)
      FSUM=0.
      DO 9 J=1,K
      LHR(J)=LH(J)
9 FSUM=FSUM+LHR(J)
      LPR=K
      DO 10 J=1,LPR
10 WHR(J)=LHR(J)/FSUM
      DO 7 IRH=1,LHH
      C=-ALOG(WHR(IRH))
      D=ALOG(2.)
      INB1(IRH)=C/D
      INR1(IRH)=INR1(IRH)+0.5599
7 INB(IRH)=INB1(IRH)
      PRINT 612
612 FORMAT (//10X,16HKONTEXTBEZOGENER,1X,18HINFORMATIONSGEHALT//)
      PRINT 613,(INB(IRH1),IRB1=1,LRH)
613 FORMAT (10X,20I5/)


---


      ISUM=0.
      DO 36 IRB=1,LRH
36 ISUM=ISUM+INB(IRB)*LHR(IRB)
      DO 37 IRB=1,LRH
      EPW(IRB)=0.
37 FPW(IRB)=((INH(IRB)*1.)/ISUM)*LHR(IRB)
      DO 32 L=1,LL
32 INFLY(L)=0.
      DO 34 L=1,LL
      DO 34 IRB=1,LRH
      IF(LV(L)-LEB(IRB))34,35,34
35 INFLY(L)=INB(IRB)
34 CONTINUE
      DO 75 MK=1,MKK
      IPSUM(MK)=0
75 FPSUM(MK)=0.
      NVI=NV-IIS+1
      DO 1080 IRH=1,LRH
1080 ICR(IRH)=1
      KAX=0
      DO 80 IX=1,NVI
      LS7(IX)=0

```

ENTROPIEPROPORTIONALE
REPRODUKTION DER
SEQUENZEN

```

      DO 76 ISZ=1,IIS
        ISZZ=ISZ-1
        IZSZ=IX+ISZZ
        LSZ(IX)=LSZ(IX)+(IIS-ISZZ)*LXX(IZSZ)+LXX(IZSZ)*KCC
        DO 76 MK=1,MKK
          IF(M(MK)-LXX(IZSZ))76,77,76
77      IRSUM(MK)=IRSUM(MK)+1
76      CONTINUE
        DO 71 IRB=1,LRH
          IF(LEB(IRB)-LSZ(IX))71,73,71
73      IF(LCR(IRB))71,71,1076
1076   DO 72 MK=1,MKK
          IF(IRSUM(MK))72,72,99
99      ERSUM(MK)=ERSUM(MK)+((ERW(IRB)/IIS)/KOMAX)*IRSUM(MK)
72      CONTINUE
        LCR(IRB)=0
        KAX=KAX+1
        IF(KAX=LRH)71,2000,2000
71      CONTINUE
        DO 1077 MK1=1,MKK
1077   IRSUM(MK1)=0
80      CONTINUE
2000   CONTINUE
        RETURN
      END

```

FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR

HUFFCODE

RORS

FFCODE P 12224 C 12131 D 00000

```

SUBROUTINE PRAEHUFF (NMAX, LGZ, KOMAX)
CHARACTER JLXX
COMMON KSEG, KE (7)
COMMON JLXX (800), LSG (1800), LZ (800)
COMMON INFAL (800), IFDA (800), LXX (800)
COMMON KCC
DIMENSION LSG (1800), LSZ (800), LZ (800), JLXX (800), LXX (800)
REWIND 11
REWIND 12
REWIND 13
N = KOMAX + NMAX - 1
DO 1531 IX = 1, N
1531 LXX (IX) = JLXX (IX)
DO 2500 IIS = 1, KOMAX
NVI = N - IIS + 1
DO 1500 IX = 1, NVI
LSZ (IX) = 0
DO 1500 ISZ = 1, IIS
ISZZ = ISZ - 1
IZSZ = IX + ISZZ
1500 LSZ (IX) = LSZ (IX) + (IIS - ISZZ) * LXX (IZSZ) + LXX (ISZZ) * KCC
WRITE (11) (LSZ (IX), IX = 1, NVI)
2500 CONTINUE
REWIND 11
DO 1507 IIS = 1, KOMAX
NVI = N - IIS + 1
READ (12) (LSG (IX), IX = 1, 1600)
READ (11) (LSZ (IX), IX = 1, NVI)
DO 1509 IX = 1, NVI
L7 (IX) = 0
DO 1508 IXZ = 1, LGZ
IF (LSG (IXZ) - LSZ (IX)) 1508, 1504, 1508
1504 LZ (IX) = LSG (IXZ)
IXI = IX + IIS - 1
DO 1530 ITG = IX, IXI
1530 LXX (ITG) = 0
1508 CONTINUE
1509 CONTINUE
WRITE (13) (LZ (IX), IX = 1, NMAX)
1507 CONTINUE
REWIND 13
DO 1520 IIS = 1, KOMAX
READ (13) (LZ (IX), IX = 1, NMAX)
BACKSPACE 13
DO 1590 IX = 1, NMAX
IF (LXX (IX)) 1590, 1590, 1521
1521 IXI1 = IX + IIS - 1
DO 1800 IZK = IX, IXI1
IF (LXX (IZK)) 1590, 1590, 1800
1800 CONTINUE
DO 1591 IZ = 1, IIS
IZZ = IZ - 1
IZIZ = IX + IZZ
L7 (IX) = LZ (IX) + (IIS - IZZ) * LXX (IZIZ) + LXX (IZIZ) * KCC

```

FORTRAN (3.1)/MASTER

```
1591 CONTINUE
1590 CONTINUE
      WRITE(13) (LZ(IX),IX=1,NMAX)
1520 CONTINUE
      REWIND 13
      RETURN
      END
```

FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR PRAEHUFF

ERRORS

PRAEHUFF P 02167 C 12131 D 00000

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

SUBROUTINE ICOMP (IC,IS,NMAX)
CHARACTER LX
COMMON KSEG,KE(7)
COMMON LX(800),LSA(1800),LEZA(800)
COMMON INFX(800),INFD(800),LXX(800)
COMMON KCC
DIMENSION INFD(800),INFX(800),INFX1(800)
BACKSPACE 13
BACKSPACE 13
READ(10)(INFX(IX),IX=1,NMAX)
READ(10)(INFX1(IX),IX=1,NMAX)
BACKSPACE 10
BACKSPACE 10
READ(13)(LEZA(IX),IX=1,NMAX)
DO 106 IX=1,NMAX
  INFD(IX)=0.
  IF(INFX1(IX)-INFX(IX)-IC)106,107,107
107 INFD(IX)=INFX1(IX)-INFX(IX)
  IF(LEZA(IX))109,109,106
109 INFD(IX)=0.
106 CONTINUE
WRITE(10)(INFD(IX),IX=1,NMAX)
READ(10)(INFX(IX),IX=1,NMAX)
READ(13)(LEZA(IX),IX=1,NMAX)
RETURN
END

      FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR      ICOMP

```

'RORS

OMP P 01676 C 12131 D 00000

```

SUBROUTINE DETEKTA (IFDA1,LAZ,KOMAX,NMAX,Y,LVEC)
CHARACTER Y
CHARACTER L
CHARACTER JLXX
COMMON KSEG,KE(7)
COMMON JLXX(800),LSA(1800),LEZA(800)
COMMON INFAL(800),IFDA(800),LXX(800)
COMMON KCC
DIMENSION IFDA(800),IFDA1(800),LSA(1800)
DIMENSION JLXX(800),LXX(800),LEZA(800),IVTA(800)
DIMENSION L(7)
DIMENSION IFDAM(6,800),IFDUM(6)
RFWIND 10
RFWIND 12
RFWIND 13
KOX=KOMAX-1
DO 3990 IIS=1,KOX
READ(10)(IFDA(IX),IX=1,NMAX)
DO 3990 IX=1,NMAX
3990 IFDAM(IIS,IX)=IFDA(IX)
LAZ=NMAX
N=NMAX+KOMAX-1
DO 1097 IX=1,N
1091 LXX(IX)=JLXX(IX)
DO 1090 IX=1,NMAX
1090 IVTA(IX)=0
DO 1103 IX=1,NMAX
KAMIN=0
IF(IVTA(IX))1918,1918,1103
1918 CONTINUE
DO 1995 IIS=1,KOX
1995 IFDUM(IIS)=IFDAM(IIS,IX)
DO 1109 IIS=1,KOX
KAMAX=0
IF(IFDAM(IIS,IX))1108,1108,1119
1108 KAMIN=KAMIN+1
IF(KAMIN-KOX)1109,1103,1103
1119 DO 1107 IIS1=1,KOX
IF(IFDAM(IIS,IX)-IFDUM(IIS1))1110,1107,1107
1110 KAMAX=KAMAX+1
1107 CONTINUE
IF(KAMAX)1111,1111,1109
1109 CONTINUE
1111 DO 3900 MTK=1,IIS
READ(13)(LEZA(IX1),IX1=1,NMAX)
3900 READ(12)(LSA(IX1),IX1=1,1800)
DO 12 K=1,7
12 L(K)=Y
IF(KSEG-1)3008,3008,3009
3009 IP=800+IX
GO TO 3010
3008 IP=IX
3010 CONTINUE
K=0

```

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

      DO 1112 IEA=1,IIS
      INA=IEA-1
      IAX=IX+IDA
      LSA(IR)=LSA(IR)+(IIS-IDA)*LXX(IAI)+LXX(IAI)*KCC
      K=K+1
      LVEC=LVEC+1
1112 L(K)=JLXX(IAI)
      PRINT 82,(L(K),K1=1,7)
      82 FORMAT (30X,12HUPERZEICHEN,5X,7A1)
      PRINT 81,LSA(IR)
      81 FORMAT (30X,16HALPHANUMERISCHER,1X,4HCODE,1X,15)
      PRINT 89,IFDAM(IIS,IX)
      89 FORMAT (30X,15HENTROPJEDISTANZ,13//)
      DO1115 IX2=1,NMAX
      IXXZ=IX2+IIS-1
      IF (LEZA(IX)-LEZA(IX2))1115,1116,1115
1116 DO 1113 ITA=IX2,IXXZ
1113 IVTA(ITA)=1
1115 CONTINUE
      BACKSPACE 12
      WRITE (12)(LSA(IX1),IX1=1,1600)
      READ(12)(LSA(IX1),IX1=1,1600)
      REWIND 12
      REWIND 13
      DO 1900 IIS=1,KOX
      DO 1900 IX1=1,NMAX
      IX11=IX1+IIS-1
      DO 1900 IZK=IX1,IX11
      IF (IVTA(IZK))1900,1900,1992
1992 IFDAM(IIS,IX1)=0
1900 CONTINUE
1103 CONTINUE
      LAZ=NMAX
      PRINT 3005
3005 FORMAT (10X,7HDETEKTA,1X,4HENDE)
      REWIND 10
      RETURN
      END

```

FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR

DETEKTA

RORS

```

TEKTA   P   14000   C   12131   D   00000
0.,MLIB,MASTER,MSFTNLIR,E1,MFTN,I)
0.,MDIR,MASTER,MSFTNLIR-DIR,E1,MFTN,I)

LIB,MDIR

```

D E T E K T I O N S -

M O D I F I K A T I O N A

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

SUBROUTINE DETEKTA (IFDA1,LAZ,KOMAX,NMAX,Y,IVTA)
CHARACTER Y
CHARACTER L
CHARACTER JLXX
COMMON KSEG,KE(7)
COMMON JLXX(800),LSA(1800),LEZA(800)
COMMON INFAl(800),IFDA(800),LXX(800)
COMMON KCC
DIMENSION L(7)
DIMENSION IFDA(800),IFDA1(800),LSA(1800)
DIMENSION JLXX(800),LXX(800),LEZA(800),IVTA(800)
REWIND 10
REWIND 12
REWIND 13
LAZ=NMAX
N=NMAX+KOMAX-1
DO 1091 IX=1,N
1091 LXX(IX)=JLXX(IX)
DO 1090 IX=1,NMAX
1090 IVTA(IX)=0
KOX=KOMAX-1
KRK=0
IS=1
1120 DO 1103 IIS=IS,KOX
KAMIN=0
IF(KRK)1990,1990,1907
1990 READ TAPE 13,(LEZA(IX),IX=1,NMAX)
READ TAPE 12,(LSA(IX),IX=1,1800)
READ TAPE 10,(IFDA(IX),IX=1,NMAX)
DO 1918 IX=1,NMAX
IXI=IX+IIS-1
DO 1918 IZK=IX,IXI
IF(IVTA(IZK))1918,1918,1919
1919 IFDA(IX)=0.
1918 CONTINUE
DO 1995 IX=1,NMAX
1995 IFDA1(IX)=IFDA(IX)
1907 DO 1109 IX=1,NMAX
KAMAX=0
IF (IFDA(IX))1108,1108,1119
1108 KAMIN=KAMIN+1
IF(KAMIN=NMAX)1109,2104,2104
2104 IF(KRK)1104,1104,1103
1119 DO 1107 IX1=1,NMAX
IF(IFDA(IX)-IFDA1(IX1))1110,1107,1107
1110 KAMAX=KAMAX+1
1107 CONTINUE
IF(KAMAX)1111,1111,1109
1109 CONTINUE
1111 DO 12 K=1,7
12 L(K)=Y
IF(KSEG=1)3008,3008,3009
3009 IR=800+IX
GO TO 3010

```

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

3008 IR=IX
3010 CONTINUE
      K=0
      DO 1112 IEA=1,IIS
        IDA=IEA-1
        IAX=IX+IDA
        LSA(IR)=LSA(IR)+(IIS-IDA)*LXX(IAx)+LXX(IAx)*KCC
        K=K+1
      LVEC=LVEC+1
1112 L(K)=JLXX(IAx)
      PRINT 82,(L(K1),K1=1,7)
      82 FORMAT (30X,12HSUPERZEICHEN,5X,7A1)
      PRINT 81,LSA(IR)
      81 FORMAT (30X,16HALPHANUMERISCHER,X,4HCODE,X,15)
      PRINT 89,IFDA(IX)
      89 FORMAT (30X,15HENTROPIEDISTANZ,13//)
      DO1115 IX2=1,NMAX
        IXXZ=IX2+IIS-1
        IF(LEZA(IX)-LEZA(IX2))1115,1116,1115
1116 DO 1113 ITA=IX2,IXXZ
1113 IVTA(ITA)=1
1115 CONTINUE
      DO 1900 IX=1,NMAX
        IXI1=IX+IIS-1
        DO 1900 IZK=IX,IXI1
          IF(IVTA(IZK))1900,1900,1992
1992 IFDA(IX)=0.
          IFDA1(IX)=0.
1900 CONTINUE
      LKON=0.
      DO 1117 IX3=1,NMAX
1117 LKON=LKON+IFDA(IX3)
      IF(LKON)1104,1104,1114
1104 IF(IIS=K0X)1199,1105,1105
1199 BACKSPACE 12
      WRITE TAPE 12,(LSA(IX),IX=1,1600)
      KRK=0
1103 CONTINUE
1114 IS=IIS
      KRK=1
      GO TO 1120
1105 CONTINUE
      BACKSPACE 12
      WRITE TAPE 12,(LSA(IX),IX=1,1600)
      PRINT 3005
3005 FORMAT (10X,7HDETEKTA,X,4HENDE)
      REWIND 10
      RETURN
      END

```

FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR

DETEKTA

NO ERRORS

DETEKTA P 02461 C 12131 D 00000
X.LGO



D E T E K T I O N S -
M O D I F I K A T I O N B

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

SURROUTINE DETEKTA (IFDA1,LAZ,KOMAX,NMAX,Y,LVEC)
CHARACTER Y
CHARACTER L
CHARACTER JLXX
COMMON KSEG,KE(7)
COMMON JLXX(800),LSA(1800),LEZA(800)
COMMON INFDA(800),IFDA(800),LXX(800)
COMMON KCC
DIMENSION L(7)
DIMENSION IFDA(800),IFDA1(800),LSA(1800)
DIMENSION JLXX(800),LXX(800),LEZA(800),IVTA(800)
BACKSPACE 13
BACKSPACE 10
LAZ=NMAX
KX=0
N=NMAX+KOMAX-1
DO 1091 IX=1,N
1091 LXX(IX)=JLXX(IX)
DO 1090 IX=1,NMAX
1090 IVTA(IX)=0
KOX=KOMAX-1
KRK=0
IP=1-KOMAX
IPP=-1
1120 DO 1103 IISP=IP,IPP
IIS=-IISP
KAMIN=0
IF (KRK,1990,1990,1907
1990 KX=2
DO 1204 IT=1,KX
BACKSPACE 12
1204 CONTINUE
BACKSPACE 13
BACKSPACE 10
READ(12)(LSA(IX),IX=1,1600)
READ(13)(LEZA(IX),IX=1,NMAX)
READ(10)(IFDA(IX),IX=1,NMAX)
BACKSPACE 13
BACKSPACE 10
DO 1918 IX=1,NMAX
IXI1=IX+IIS-1
DO 1918 IZK=IX,IXI1
IF (IVTA(IZK))1918,1918,1919
1919 IFDA(IX)=0.
1918 CONTINUE
DO 1995 IX=1,NMAX
1995 IFDA1(IX)=IFDA(IX)
1907 DO 1109 IX=1,NMAX
KAMAX=0
IF (IFDA(IX))1108,1108,1119
1108 KAMIN=KAMIN+1
IF (KAMIN=NMAX)1109,2104,2104
2104 IF (KRK)1104,1104,1103
1119 DO 1107 IX1=1,NMAX

```

```

      IF (IFDA (IX) - IFDA1 (IX1)) 1110, 1107, 1107
1110 KAMAX = KAMAX + 1
1107 CONTINUE
      IF (KAMAX) 1111, 1111, 1109
1109 CONTINUE
1111 DO 12 K = 1, 7
      12 L (K) = Y
      IF (KSEG = 1) 3008, 3008, 3009
3009 IR = 800 + IX
      GO TO 3010
3008 IR = IX
3010 CONTINUE
      K = 0
      DO 1112 IEA = 1, IIS
      IDA = IEA - 1
      IAX = IX + IDA
      LSA (IR) = LSA (IR) + (IJS - IDA) * LXX (IAX) + LXX (IAX) * KCC
      K = K + 1
      LVEC = LVEC + 1
1112 L (K) = J LXX (IAX)
      PRINT 82, (L (K1), K1 = 1, 7)
      82 FORMAT (30X, 12HSUPF RZEICHEN, 5X, 7A1)
      PRINT 81, LSA (IR)
      81 FORMAT (30X, 16HALPHANUMERISCHER, 1X, 4HCODE, 1X, I5)
      PRINT 89, IFDA (IX)
      89 FORMAT (30X, 15HENTROPIEDISTANZ, I3//)
      DO 1115 IX2 = 1, NMAX
      IXXZ = IX2 + IIS - 1
      IF (LEZA (IX) - LEZA (IX2)) 1115, 1116, 1115
1116 DO 1113 ITA = IX2, IXXZ
1113 IVTA (ITA) = 1
1115 CONTINUE
      DO 1900 IX = 1, NMAX
      IXI1 = IX + IIS - 1
      DO 1900 IZK = IX, IXI1
      IF (IVTA (IZK)) 1900, 1900, 1992
1992 IFDA (IX) = 0.
      IFDA1 (IX) = 0.
1900 CONTINUE
      LKON = 0.
      DO 1117 IX3 = 1, NMAX
1117 LKON = LKON + IFDA (IX3)
      IF (LKON) 1104, 1104, 1114
1104 IF (IISP - IPP) 1199, 1105, 1105
1199 BACKSPACE 12
      WRITE (12) (LSA (IX), IX = 1, 1600)
      KRK = 0
      READ (12) (LSA (IX), IX = 1, 1600)
      BACKSPACE 12
1103 CONTINUE
1114 IP = IISP
      KRK = 1
      GO TO 1120
1105 CONTINUE

```

FORTRAN (3.1)/MASTER

```
BACKSPACE 12
WRITE(12)(LSA(IX),IX=1,1600)
READ(12)(LSA(IX),IX=1,1600)
BACKSPACE 12
PRINT 3005
3005 FORMAT (10X,7HDETEKTA,IX,4HENDE)
REWIND 10
RETURN
END
```

FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR

DETEKTA

10 ERRORS

```
DETEKTA P 02563 C 12131 D 00000
DEF(O.,MLIB,MASTER,MSFTNLIB,E1,MFTN,I)
DEF(O.,MDIR,MASTER,MSFTNLIB-DIR,E1,MFTN,I)
.LGO
UX.MLIB,MDIR
```

D E T E K T I O N S -
M O D I F I K A T I O N D

FORTRAN (3,1)/MASTER

```

SUBROUTINE DETEKTA (IFDA1,LAZ,KOMAX,NMAX,Y,LVEC)
CHARACTER Y
CHARACTER L
CHARACTER JLXX
COMMON KSEG,KE(7)
COMMON JLXX(800),LSA(1800),LEZA(800)
COMMON INFAL(800),IFDA(800),LXX(800)
COMMON KCC
DIMENSION L(7)
DIMENSION IFDAM(6,800)
DIMENSION IFDA(800),IFDA1(800),LSA(1800)
DIMENSION JLXX(800),LXX(800),LEZA(800),IVTA(800)
REWIND 10
REWIND 12
REWIND 13
LAZ=NMAX
N=NMAX+KOMAX-1
DO 1091 IX=1,N
1091 LXX(IX)=JLXX(IX)
KOX=KOMAX-1
DO 3990 IIS=1,KOX
READ TAPE 10,(IFDA(IX),IX=1,NMAX)
DO 3990 IX=1,NMAX
3990 IFDAM(IIS,IX)=IFDA(IX)
1120 IS=1
REWIND 10
REWIND 12
REWIND 13
KAMIN =0
KMM=NMAX*KOX
DO 1103 IIS=IS,KOX
READ TAPE 10,(IFDA(IXK1),IXK1=1,NMAX)
READ TAPE 12,(LSA(IX),IX=1,1600)
READ TAPE 13,(LEZA(IX),IX=1,NMAX)
DO 1103 IXK=1,NMAX
KAMAX=0
IF(IFDAM(IIS,IXK))1408,1408,1119
1408 IFDA(IXK)=0
IF(IFDA(IXK))1108,1108,1119
1108 KAMIN=KAMIN+1
IF(KAMIN=KMM)1103,1105,1105
1119 DO 1107 IISX=1,KOX
DO 1107 IX=1,NMAX
IF(IFDA(IXK)=IFDAM(IISX,IX))1110,1107,1107
1110 KAMAX=KAMAX+1
1107 CONTINUE
IF(KAMAX)1111,1111,1103
1111 DO 19 K=1,7
19 L(K)=Y
IF(KSEG-1)3008,3008,3009
3009 IR=RON+IXK
GO TO 3010
3008 IR=IXK
3010 CONTINUE

```

```

      K=0
      DO 1112 IEA=1,IIS
      IDA=IEA-1
      IAX=IKK+IDA
      LSA(IR)=LSA(IR)+(IIS-IDA)*LXX(IAX)+LXX(IAX)*KCC
      LVEC=LVEC+1
      K=K+1
1112 L(K)=JLXX(IAX)
      PRINT 82,(L(K1),K1=1,7)
      *2 FORMAT (40X,12HSUPERZEICHEN,3X,7A1)
      PRINT 81,LSA(IR)
      *1 FORMAT (30X,16HALPHANUMERISCHER,X,4HCODE,X,I5)
      PRINT 89,IFDA(IXK)
      *9 FORMAT (30X,15HENTROPIEDISTANZ,I3//)
      DO1115 IX2=1,NMAX
      IXX2=IX2+IIS-1
      IF(LEZA(IXK)-LEZA(IX2))1115,1116,1115
1116 DO 1113 ITA=IX2,IXX2
1113 IVTA(ITA)=1
1115 CONTINUE
      DO 1900 IIS1=1,KOX
      DO 1900 IX=1,NMAX
      IXI1=IX+IIS1-1
      DO 1900 IZK=IX,IXI1
      IF(IVTA(IZK))1900,1900,1992
1992 IFDAM(IIS1,IX)=0
1900 CONTINUE
      BACKSPACE 12
      WRITE TAPE 12,(LSA(IX),IX=1,1600)
      READ TAPE 12,(LSA(IX),IX=1,1600)
      REWIND 12
      MKON =0
      DO 1117 IISK=1,KOX
      DO 1117 IX=1,NMAX
1117 MKON=MKON+IFDAM(IISK,IX)
      IF(MKON)1105,1105,1114
1103 CONTINUE
1114 GO TO 1120
1105 CONTINUE
      PRINT 3005
3005 FORMAT (10X,7HDETFKTA,X,4HENDED)
      RETURN
      END

```

FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR

DETEKTA

NO ERRORS

```

DETEKTA      P      14064      C      12131      D      00000
X:1 GO

```



M O D E L M O D I F I K A T I O N E

FORTRAN (3,1)/MASTER

```

PROGRAM MODE
C  APPERZEPTION VON SEQUENZEN VIERTER ORDNUNG NACH DEM MAXIMUM DER
C  SEQUENZENTROPIE
C  SOFORTIGE ZEILENEXTRAKTION AUF DEM JEWEILIGEN KONTEXTNIVEAU
CHARACTER Y
CHARACTER LX,LXU
CHARACTER M,Z
COMMON KSEG,KE(7)
COMMON LX(800),LSA(1800),LEZA(800)
COMMON INFAL(800),IFDA(800),LXX(800)
COMMON KCC
EQUIVALENCE(LX,LXU)
DIMENSION M(30),IFDA1(800)
DIMENSION ERWA(300),WA(45,30)
DIMENSION LX(800),LXU(800),LSA(1800),LEZA(800)
DIMENSION INFAL1(800),IFDA1(800)
READ(60,4)KCC
4  FORMAT(I5)
READ(60,1)(LXU(I),I=1,800),KOMAX,NV,NVL,IC
1  FORMAT(10(80A1)/4I6)
READ(60,2)(M(MK),MK=1,24),MKK,Z
2  FORMAT(24A1,I5,A1)
PRINT 1012,IC
1012 FORMAT(10X,21HSUPERZUEICHENDETEKTION//10X,15HENTROPIEDISTANZ,
1  X,3HIC=,I3///)
KMOD=5
PUNCH 8000,KMOD,IC
8000 FORMAT(2I5/)
LVEC =0
KSEG =0
3000 KSEG=KSEG+1
IF(KSEG-1)3070,3070,3071
3070 CONTINUE
3071 CONTINUE
REWIND 12
NVVL=NV/NVL
IF(KSEG-1)3010,3010,3011
3011 IMI=21
NL=2*NVVL
GO TO 3012
3010 IMI =1
NL=NVVL
3012 CONTINUE
DO 90 IM=IMI,NL
REWIND 9
REWIND 10
PRINT 1011,IM
1011 FORMAT(10X,15HVERSUCHSSTADIUM,I4///)
IF(KSEG-1)6010,6010,6011
6011 N=(IM-20)*NVL
GO TO 6012
6010 N=IM*NVL
6012 CONTINUE
KOX=KOMAX-1

```

```

      NMAX=N-KOX
      IF(NMAX-40)9001,9001,9002
9001 READ(60,9000)Y
9000 FORMAT (A1)
9002 CONTINUE
      IF(IM-1)500,500,501
500 DO 994 IS=1,KOMAX
      DO 92 I=1,1600
92 LSA(I)=0
998 WRITE TAPE 12,(LSA(I),I=1,1600)
      GO TO 999
501 DO 992 I=1,1600
992 LSA(I)=0
      WRITE TAPE 12,(LSA(I),I=1,1600)
999 CONTINUE
      DO 91 I=1,N
91 LX(I)=LXU(I)
      PRINT 3002,(LX(I),I=1,N)
3002 FORMAT (10X,80A1)
      IF(IM-1) 93,93,95
93 LAZ=NMAX
95 DO 2003 MK=1,MKK
2003 WA(IM,MK)=0.
      WASEM=0.
      WASUM=0.
      DO 101 IS=1,KOMAX
      CALL PRAEHUFF (NMAX,LAZ,IS)
      ERWA=0.
      CALL HUFFCODE (M,MKK,NMAX,KOMAX,IS,N,ERWA)
      WRITE TAPE 10,(INFA1(I),I=1,NMAX)
      DO 2002 MK=1,MKK
      WA(IM,MK)=WA(IM,MK)+ERWA(MK)
      IF(IS-KOMAX)3111,3112,3112
3112 WASUM=WASUM+WA(IM,MK)
3111 CONTINUE
      ERWA=ERWA+ERWA(MK)
2002 CONTINUE
      IF(ERWA)3121,3121,3122
3121 PRINT 3123,IS
3123 FORMAT (///10X,17HNULLKONTEXTVEKTOR,X,3HAUF,X,3HDEM,X,6HNIVEAU,X,
      RI3)
3122 IF(IS-KOMAX)3117,3120,3120
3120 IF(WASUM-1)3114,3117,3117
3114 DO 3115 MK=1,MKK
      WA(IM,MK)=WA(IM,MK)+(WA(IM,MK)/WASUM)*(1-WASUM)
3115 WASEM=WASEM+WA(IM,MK)
3117 CONTINUE
      IF(IS-KOMAX)4111,4112,4112
4112 PRINT 2996
2996 FORMAT (///10X,17HDURCHSCHNITTLICHE,
      310X,27HWAHRSCHEINLICHKEITSSTRUKTUR,X,3HDER,X,12HELEMENTREIHE,
      PRINT 2991,(WA(IM,MK),MK=1,MKK)
2991 FORMAT (10X,12F10.4/)
      PRINT 2997

```

FORTRAN (3,1)/MASTER

```

2997 FORMAT (///20X,14HKONTROLLSUMMEN)
      PRINT 2990,WASUM
2990 FORMAT (20X,F10.4)
      PRINT 2993,WASEM
2993 FORMAT (20X,F10.4)
      PUNCH 8001,(WA(IM,MK),MK=1,MKK)
8001 FORMAT (3(8F10.4/))
4111 CONTINUE
      DO 111 MK=1,MKK
111  ERWA(MK)=0.
      IF (IS=2) 101,103,103
103  RACKSPACE 10
      RACKSPACE 10
      CALL ICOMP (IC,IS,NMAX)
      REWIND 9
      PRINT 1010
1010 FORMAT (////10X,9HDETEKTION,X,4HNACH,X,13HZEILENMAXIMUM,X,3HDER,X,
21HSEQUENZENTROPIE/10X,9HBEGINNEND,X,3HBEI,X,3HDER,X,
314HELFMENTORDNUNG,X,3HMIT,X,10HSOFORTIGER,X,10HEXTRAKTION,X,3HDER,
4X,12HSUPERZEICHEN,X,3HAUF,X,3HDEM,X,10HJEWEILIGEN,X,
513HKONTEXTNIVEAU//)
      CALL DETEKTA (IFDA1,LAZ,IS,NMAX,Y,LVEC)
101  CONTINUE
      IF (KSEG=1) 3001,3001,3005
3005 LAZ=800+NMAX
      GO TO 3006
3001 LAZ=NMAX
3006 CONTINUE
      IF (LVFC=24) 90,90,3030
90  CONTINUE
      IF (KSEG=1) 3020,3020,3030
3020 GO TO 3000
3030 CONTINUE
      PRINT 3031
3031 FORMAT (/////40X,21HSUPERZEICHENDETEKTION,2X,7HBEENDET//40X,
74HMODF,X,4HENDE)
      END

```

FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR MODE

NO ERRORS

MODE P 11411 C 12131 D 00000

```

SUBROUTINE HUFFCODE(EM,MKK,LL,KOMAX,IIS,NV,ERSUM)
CHARACTER KLE
CHARACTER JLXX,EM
REAL INB1,LHB
COMMON KSEG,KE(7)
COMMON JLXX(800),LSA(1800),LEZA(800)
COMMON INFLY(800),IFDA(800),LXX(800)
COMMON KCC
DIMENSION KE(7),KLE(400),KLH(400)
DIMENSION INB1(400)
DIMENSION WHB(400)
DIMENSION EM(30)
DIMENSION LY(800),LE(400),LH(400),LH1(400)
DIMENSION LHR(400),LEB(400),INB(400),LY1(800),M(30),JLXX(800)
DIMENSION LXX(800),LSZ(800),LCR(400)
DIMENSION INFLY(800),ERW(800),ERSUM(300),IRSUM(30)
EQUIVALENCE (LY,LEZA,LSZ),(LCR,LH),(LE,LEB)
DO 424 MK=1,MKK
424 M(MK)=EM(MK)
DO 124 IX=1,NV
124 LXX(IX)=JLXX(IX)
RACKSPACE 13
READ TAPE 13, (LY(IX),IX=1,LL)
DO1 J=1,400
LE(J)=0
1 LH(J)=0
J=0
DO 55 L=1,LL
55 LY1(L)=LY(L)
DO 91 L=1,LL
IF (LY(L)-LY1(L))4,91,4
4 J=J+1
LE(J)=LY(L)
DO5 L1=1,LL
IF (LY(L)-LY1(L1))5,70,5
70 LY1(L1)=0
LH(J)=LH(J)+1
5 CONTINUE
91 CONTINUE
K=J
PRINT 610,IIS
610 FORMAT (//////10X,9HSEQUENZEN,X,I3,1H.,X,7HORDNUNG//)
PRINT 611,(LE(J1),J1=1,K)
611 FORMAT (10X,20I5/)
IF (KSG-1)2902,2902,2905
2905 KEK=KF(IIS)
READ TAPE 9, ((KLE(J2),J2=1,KEK),(KLH(J2),J2=1,KEK))
DO 2907 J4=1,KEK
DO 2907 J5=1,K
IF (LE(J5)-KLE(J4))2907,2908,2907
2908 LH(J5)=LH(J5)+KLH(J4)
2907 CONTINUE
GO TO 2901
2902 IF (NV-800)2901,2900,2900

```

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

2900 KF(IIS)=K
      WRITE TAPE 9,((LE(J1),J1=1,K),(LH(J1),J1=1,K))
2901 K2=K
      IF(K=1)4900,4900,4901
4900 DO 4910 L=1,LL
4910 INFLY(L)=0.
      DO 4911 MK=1,MKK
4911 ERSUM(MK)=0.
      PRINT 4921,IIS
4921 FORMAT (40X,11HSINGULAEERFS,X,7HELEMENT,X,3HAUF,X,3HDEM,X,
    913HKONTXTNIVEAU,15/40X,13HENTROPIF=NULL)
      GO TO 2000
4901 CONTINUE
      FSUM=0.
      DO 9 J=1,K
        LHR(J)=LH(J)
      9 FSUM=FSUM+LHR(J)
      LRB=K
      DO 10 J=1,LRB
        10 WHR(J)=LHR(J)/FSUM
      DO 7 IRB=1,LRB
        C=-ALOG(WHR(IRB))
        D=ALOG(2.)
        INB1(IRB)=C/D
        INR1(IRB)=INR1(IRB)+0.9999
      7 INB(IRB)=INB1(IRB)
      PRINT 612
612 FORMAT (//10X,16HKONTEXTREZGENER,X,18HINFORMATIONSGEHALT//)
      PRINT 613,((INB(IRB1),IRB1=1,LRB)
613 FORMAT (10X,20I5/)
      ISUM=0.
      DO 36 IRB=1,LRB
        36 ISUM=ISUM+INB(IRB)*LHB(IRB)
      DO 37 IRB=1,LRB
        ERW(IRB)=0.
      37 ERW(IRB)=((INB(IRB)*1.)/ISUM)*LHB(IRB)
      DO 32 L=1,LL
      32 INFLY(L)=0.
      DO 34 L=1,LL
      DO 34 IRB=1,LRB
        IF(LY(L)-LEB(IRB))34,35,34
      35 INFLY(L)=INB(IRB)
      34 CONTINUE
      DO 75 MK=1,MKK
        ERSUM(MK)=0
      75 ERSUM(MK)=0.
      NVI=Nv-IIS+1
      DO 1080 JRB=1,LRB
1080 LCR(IRB)=1
      KAX=0
      DO 80 IX=1,NVI
        LSZ(IX)=0
      DO 76 ISZ=1,IIS
        ISZ7=ISZ-1

```

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

      IZS7=IX+ISZZ
      LSZ(IX)=LSZ(IX)+(IIS-IZS7)*LXX(IZSZ)*LXX(IZSZ)*KCC
      DO 76 MK=1,MKK
      IF(M(MK)-LXX(IZSZ))76,77,76
77  IRSUM(MK)=IRSUM(MK)+1
76  CONTINUE
      DO 71 IRB=1,LRH
      IF(LEB(IRB)-LSZ(IX))71,73,71
73  IF(LCR(IRB))71,71,1076
1076 DO 72 MK=1,MKK
      IF(IRSUM(MK))72,72,99
99  ERSUM(MK)=ERSUM(MK)+((ERW(IRB)/IIS)/KOMAX)*IRSUM(MK)
72  CONTINUE
      LCR(IRB)=0
      KAX=KAX+1
      IF(KAX-LRB)71,2000,2000
71  CONTINUE
      DO 1077 MK1=1,MKK
1077 IRSUM(MK1)=0
      80 CONTINUE
2000 CONTINUE
      RETURN
      END

```

FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR

HUFFCODE

NO ERRORS

HUFFCODE	P	17121	C	12131	D	00000
----------	---	-------	---	-------	---	-------

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

      SUBROUTINE PRAEHUFF (NMAX,LGZ,KOMAX)
      CHARACTER JLXX
      COMMON KSEG,KE(7)
      COMMON JLXX(800),LSG(1800),LZ(800)
      COMMON INFA1(800),IFDA(800),LXX(800)
      COMMON KCC
      DIMENSION LSG(1800),LSZ(800),LZ(800),JLXX(800),LXX(800)
      REWIND 11
      REWIND 12
      REWIND 13
      N=KOMAX+NMAX-1
      DO 1531 IX=1,N
1531  LXX(IX)=JLXX(IX)
      DO 2500 IIS=1,KOMAX
      NVI=N-IIS+1
      DO 1500 IX=1,NVI
      LSZ(IX)=0
      DO 1500 ISZ=1,IIS
      ISZZ=ISZ-1
      IZSZ=IX+ISZZ
1500  LSZ(IX)=LSZ(IX)+(IIS-ISZZ)*LXX(IZSZ)+LXX(IZSZ)*KCC
      WRITE TAPE 11,(LSZ(IX),IX=1,NVI)
2500  CONTINUE
      REWIND 11
      DO 1507 IIS=1,KOMAX
      NVI=N-IIS+1
      READ TAPE 12,(LSG(IX),IX=1,1600)
      READ TAPE 11,(LSZ(IX),IX=1,NVI)
      DO 1599 IX=1,NVI
      LZ(IX)=0
      DO 1508 IXZ=1,LGZ
      IF(LSG(IXZ)-LSZ(IX))1508,1504,1508
1504  LZ(IX)=LSG(IXZ)
      IXI=IX+IIS-1
      DO 1530 ITG=IX,IXI
1530  LXX(ITG)=0
1508  CONTINUE
1599  CONTINUE
      WRITE TAPE 13,(LZ(IX),IX=1,NMAX)
1507  CONTINUE
      REWIND 13
      DO 1520 IIS=1,KOMAX
      READ TAPE 13,(LZ(IX),IX=1,NMAX)
      BACKSPACE 13
      DO 1590 IX=1,NMAX
      IF(LXX(IX))1590,1590,1521
1521  IXI1=IX+IIS-1
      DO 1800 IZK=IX,IXI1
      IF(LXX(IZK))1590,1590,1800
1800  CONTINUE
      DO 1591 IZ=1,IIS
      IZZ=IZ-1
      IZIZ=IX+IZZ
      LZ(IX)=LZ(IX)+(IIS-IZZ)*LXX(IZIZ)+LXX(IZIZ)*KCC

```

FORTRAN (3.1)/MASTER

```
1591 CONTINUE
1590 CONTINUE
      WRITE TAPE 13,(LZ(IX),IX=1,NMAX)
1520 CONTINUE
      RETURN
      END
```

FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR

PRAEHUFF

NO ERRORS

PRAEHUFF P 02165 C 12131 D 00000

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

SUBROUTINE ICOMP (IC,IS,NMAX)
CHARACTER LX
COMMON KSEG,KE(7)
COMMON LX(800),LSA(1800),LEZA(800)
COMMON INFX(800),INFD(800),LXX(800)
COMMON KCC
DIMENSION INFD(800),INFX(800),INFX1(800)
BACKSPACE 13
BACKSPACE 13
READ TAPE 10, (INFX(IX),IX=1,NMAX)
READ TAPE 10, (INFX1(IX),IX=1,NMAX)
BACKSPACE 10
BACKSPACE 10
READ TAPE 13, (LEZA(IX),IX=1,NMAX)
DO 106 IX=1,NMAX
  INFD(IX)=0.
  IF (INFX1(IX)-INFX(IX)=IC) 106,107,107
107 INFD(IX)=INFX1(IX)-INFX(IX)
  IF (LEZA(IX)) 109,109,106
109 INFD(IX)=0.
106 CONTINUE
WRITE TAPE 10, (INFD(IX),IX=1,NMAX)
READ TAPE 10, (INFX(IX),IX=1,NMAX)
READ TAPE 13, (LEZA(IX),IX=1,NMAX)
RETURN
END

```

FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR ICOMP

NO ERRORS

ICOMP P 01676 C 12131 D 00000

```

SUBROUTINE DETFKTA (IFDA1,LAZ,KOMAX,NMAX,Y,LVEC)
CHARACTER Y
CHARACTER L
CHARACTER JLXX
COMMON KSEG,KE(7)
COMMON JLXX(800),LSA(1800),LEZA(800)
COMMON INFAL(800),IFDA(800),LXX(800)
COMMON KCC
DIMENSION L(7)
DIMENSION IFDA(800),IFDA1(800),LSA(1800)
DIMENSION JLXX(800),LXX(800),LEZA(800),IVTA(800)
REWIND 10
REWIND 12
REWIND 13
LAZ=NMAX
KX=0
N=NMAX+KOMAX-1
DO 1091 IX=1,N
1091 LXX(IX)=JLXX(IX)
DO 1090 IX=1,NMAX
1090 IVTA(IX)=0
KOX=KOMAX-1
KPK=0
IS=1
1120 DO 1103 IIS=IS,KOX
KAMIN=0
IF (KPK) 1990,1990,1907
1990 READ TAPE 13,(LEZA(IX),IX=1,NMAX)
READ TAPE 12,(LSA(IX),IX=1,1600)
READ TAPE 10,(IFDA(IX),IX=1,NMAX)
DO 1918 IX=1,NMAX
IXI1=IX+IIS-1
DO 1918 IZK=IX,IXI1
IF (IVTA(IZK)) 1918,1918,1919
1919 IFDA(IX)=0.
1918 CONTINUE
DO 1995 IX=1,NMAX
1995 IFDA1(IX)=IFDA(IX)
1907 DO 1109 IX=1,NMAX
KAMAX=0
IF (IFDA(IX)) 1108,1108,1119
1108 KAMIN=KAMIN+1
IF (KAMIN=NMAX) 1109,2104,2104
2104 IF (KPK) 1104,1104,1103
1119 DO 1107 IX1=1,NMAX
IF (IFDA(IX)-IFDA1(IX1)) 1110,1107,1107
1110 KAMAX=KAMAX+1
1107 CONTINUE
IF (KAMAX) 1111,1111,1109
1109 CONTINUE
1111 DO 12 K=1,7
12 L(K)=Y
IF (KSEG-1) 3008,3008,3009
3009 IR=800+IX

```

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

      GO TO 3010
3008 IR=IX
3010 CONTINUE
      K=0
      DO 1112 IEA=1,IIS
        IDA=IEA-1
        IAX=IX+IDA
        LSA(IR)=LSA(IR)+(IIS-IDA)*LXX(IAX)+LXX(IAX)*KCC
        K=K+1
        LVEC=I VEC+1
1112 L(K)=JLXX(IAX)
        PRINT 82,(L(K1),K1=1,7)
        R2 FORMAT (30X,12H5UPERZEICHEN,5X,7A1)
        PRINT 81,LSA(IX)
        R1 FORMAT (30X,16HALPHANUMERISCHER,X,4HCODE,X,IS)
        PRINT 89,IFDA(IX)
        R9 FORMAT (30X,15HENTROPIEDISTANZ,13//)
        DO1115 IX2=1,NMAX
          IXXZ=IX2+IIS-1
          IF (LE7A(IX)-LE2A(IX2))1115,1116,1115
1116 DO 1113 ITA=IX2,IXXZ
1113 IVTA(ITA)=1
1115 CONTINUE
        DO 1900 IX=1,NMAX
          IXT1=IX+IIS-1
          DO 1900 IZK=IX,IXT1
            IF (IVTA(IZK))1900,1900,1992
1992 IFDA(IX)=0.
            IFDA1(IX)=0.
1900 CONTINUE
            LKON=0.
            DO 1117 IX3=1,NMAX
1117 LKON=LKON+IFDA(IX3)
            IF (LKON)1104,1104,1114
1104 IF (IIS=K0X)1199,1105,1105
1199 BACKSPACE 12
            WRITE TAPE 12,(LSA(IX),IX=1,1600)
            READ TAPE 12,(LSA(IX),IX=1,1600)
            BACKSPACE 12
            BACKSPACE 10
            WRITE TAPE 10,(IFDA(IX),IX=1,NMAX)
            READ TAPE 10,(IFDA(IX),IX=1,NMAX)
            BACKSPACE 10
            KKK=0
1103 CONTINUE
1114 IS=IIS
            KKK=1
            GO TO 1120
1105 CONTINUE
            BACKSPACE 12
            WRITE TAPE 12,(LSA(IX),IX=1,1600)
            READ TAPE 12,(LSA(IX),IX=1,1600)
            BACKSPACE 12
            BACKSPACE 10

```

FORTRAN (3.1)/MASTER

```
WRITE TAPE 10, (IFDA(IX), IX=1, NMAX)
READ TAPE 10, (IFDA(IX), IX=1, NMAX)
BACKSPACE 10
PRINT 3005
3005 FORMAT (10X, 7HDETEKTA, X, 4HENDE)
READ TAPE 10, (IFDA(IX), IX=1, NMAX)
RETURN
END
```

FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR

DETEKTA

NO ERRORS

DETEKTA P 02645 C 12131 D 00000
X, I GO

MODELLMODIFIKATION F

FO TRAN (3,1)/MASTER

```

PROGRAM MODF
C   APPERZEPTION VON SEQUENZEN VIERTER ORDNUNG NACH DEM MAXIMUM DER
C   SEQUENZENTROPIE
C   SOFORTIGE ZEILENEXTRAKTION AUF DEM JEWEILIGEN KONTEXTNIVEAU
CHARACTER Y
CHARACTER LX,LXU
CHARACTER M,Z
COMMON KSEG,KE(7)
COMMON LX(800),LSA(1800),LEZA(800)
COMMON INFAL(800),IFDA(800),LXX(800)
COMMON KCC
EQUIVALENCE(LX,LXU)
DIMENSION M(30),IFDA1(800)
DIMENSION ERWA(300),WA(45,30)
DIMENSION LX(800),LXU(800),LSA(1800),LEZA(800)
DIMENSION INFAL1(800),IFDA1(800)
READ(60,4)KCC
4  FORMAT(I5)
   READ(60,1)(LXU(J),J=1,800),KOMAX,NV,NVL,IC
1  FORMAT(10(80A1)/416)
   READ(60,2)(N(MK),MK=1,24),MKK,Z
2  FORMAT(24A1,I5,A1)
   PRINT 1012,IC
1012 FORMAT(10X,21HSUPERZEICHENDETEKTION//10X,15HENTROPIEDISTANZ,
1X,3HIC=,I3//)
   KMOD=6
   PUNCH 8000,KMOD,IC
8000 FORMAT(215/)
   LVFC =0
   KSEG =0
3000 KSEG=KSEG+1
   IF(KSEG-1)3070,3070,3071
3070 CONTINUE
   REWIND 12
3071 CONTINUE
   NVVL=IV/NVL
   IF(KSEG-1)3010,3010,3011
3011 IMI=21
   NL=2*NVL
   GO TO 3012
3010 IMI =1
   NL=NVVL
3012 CONTINUE
   DO 90 IM=IMI,NL
   REWIND 4
   REWIND 10
   REWIND 14
   PRINT 1011,IM
1011 FORMAT(10X,15HVERSUCHSSTADIUM,I4//)
   IF(KSEG-1)6010,6010,6011
6011 N=(IM-20)*NVL
   GO TO 6012
6010 N=IM*NVL
6012 CONTINUE

```

FOPTRAN (3.1)/MASTER

```

      KOX=K(MAX-J)
      NMAX=N-KOX
      IF (NMAX-40) 9001,9001,9002
9001 READ(60,9000)Y
9000 FORMAT (A1)
9002 CONTINUE
      IF (IM-J) 500,500,501
500 DO 998 IS=J,KOMAX
      DO 92 J=1,1600
92 LSA(I)=0
998 WRITE TAPE 12,(LSA(I),I=1,1600)
501 CONTINUE
      DO 91 I=1,N
91 LX(I)=LXU(I)
      PRINT 3002,(LX(I),I=1,N)
3002 FORMAT (10X,60A1)
      IF (IM-J) 93,93,95
93 LAZ=NMAX
95 DO 2003 MK=1,MKK
2003 WA(IM,MK)=0.
      WASEM=0.
      WASUM=0.
      IP=-KOMAX
      IPP=-1
      DO 101 IISP=IP,IPP
      IS=-IISP
      CALL PPAFHUFF(NMAX,LAZ,KOMAX,IS)
      ERWA=0.
      CALL HUFFCODE (M,MKK,NMAX,KOMAX,IS,N,ERWA)
      WRITE TAPE 10,(INFA1(I),I=1,NMAX)
      DO 2002 MK=1,MKK
      WA(IM,MK)=WA(IM,MK)+ERWA(MK)
      IF (IS-1) 3112,3112,3111
3112 WASUM=WASUM+WA(IM,MK)
3111 CONTINUE
      ERWAS=ERWAS+ERWA(MK)
2002 CONTINUE
      IF (ERWAS) 3121,3121,3122
3121 PRINT 3123,IS
3123 FORMAT (///10X,17HNULLKONTEXTVEKTOR,X,3HAUF,X,3HDEM,X,6HINIVEAU,X,
      8I3)
3122 IF (IS-J) 3120,3120,3117
3120 IF (WASUM-1) 3114,3117,3117
3114 DO 3115 MK=1,MKK
      WA(JM,MK)=WA(JM,MK)+(WA(JM,MK)/WASUM)*(1-WASUM)
3115 WASEM=WASEM+WA(JM,MK)
3117 CONTINUE
      IF (IS-1) 4112,4112,4111
4112 PRINT 2996
2996 FORMAT (///10X,17HDURCHSCHNITTICHE.
      310X,27HWHIRSCHAFTLICHKEITSSTRUKTUR,X,3HDEF,X,12HELEMENTREIHE//)
      PRINT 2991,(WA(JM,MK),MK=1,MKK)
2991 FORMAT (10X,12F10.4/)
      PRINT 2997

```


FORTRAN (3,1)/MASTER

```

2997 FORMAT (///20X,14HKONTROLLSUMMEN)
      PRINT 2990,KASUM
2990  FORMAT (20X,f10.4)
      PRINT 2993,WASEM
2993  FORMAT(20X,f10.4)
      PUNCH P001,(W4(IN,MK)*MK=1,MKK)
5000  FORMAT (3(f10.4/))
4111  CONTINUE
      DO 111 MK=1-MKK
      111 ERWA(MK)=0.
          IF(JS-A)(3,103,101)
      103 BACKSPACE 10
          BACKSPACE 10
          CALL ICOMP (IC,IS,NMAX)
          PRINT 1010
1010  FORMAT (////10X,9HDETEKTION,X,4HNACH,X,13HZEILENMAXIMUM,X,3HDER,X,
215HSFQUENZENTROPLE/10X,9HREGINNEND,X,3HBEI,X,3HDER,X,
314HMAXIMAL ORDNUNG,X,3HMIT,X,10HSOFORTIGER,X,10HEXTRAKTION,X,3HDER,
4X,12HSUFFRZEICHEN,X,3HAUF,X,3HDEM,X,10HJEWEILIGEN,X,
513HKONTEXTMIVEAU//)
      CALL DETFKA (JFUA1,LAZ,KOMAX,NMAX,Y,LVEC,IS)
      IF(LVEC-24)101,101,3030
      101 CONTINUE
          IF(KSEG-1)3001,3001,3005
3005  LAZ=800+NMAX
          GO TO 3006
3001  LAZ=NMAX
3006  CONTINUE
      90 CONTINUE
          IF(KSEG-1)3020,3020,3030
3020  GO TO 3000
3030  CONTINUE
          PRINT 3031
3031  FORMAT (////40X,21HSUPR7FICHENDETEKTION,2X,7HBEENDET//40X,
74HMODE,X,4HENDIE)
      END

```

FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR MODF

ERRORS

MODF P 11373 C 12131 D 00000

FORTRAN (3,1)/MASTER

```

SUBROUTINE BUFFCODE (EL,MKK,I,LL,KOMAX,IIS,NV,ERSUM)
CHARACTER KLE
CHARACTER JLXX,FM
REAL INB,LEB
COMMON KSEG,KE(7)
COMMON JLXX(800),LSA(1800),LEZA(800)
COMMON INFLY(800),IFDA(800),LXX(800)
COMMON KCC
DIMENSION KE(7),KLE(400),KLH(400)
DIMENSION INB1(400)
DIMENSION WBB(400)
DIMENSION EN(30)
DIMENSION LY(800),LE(400),LH(400),LH1(400)
DIMENSION LHB(400),LEB(400),INB(400),LY1(800),M(30),JLXX(800)
DIMENSION LXX(800),LSZ(800),LCR(400)
DIMENSION INFLY(800),ERW(800),ERSUM(300),IRSUM(30)
EQUIVALENCE (LY,LEZA,LSZ),(LCR,LH),(LE,LEB)
DO 424 MK=M,MMK
424 M(MK)=FM(MK)
DO 124 IX=1,NV
124 LXX(IX)=JLXX(IX)
REWIND 13
INI=KOMAX-IIS+1
DO 5000 IN=1,INI
5000 READ TAPE 13,(LY(IX),IX=1,LL)
DO1 J=1,400
LE(J)=0
1 LH(J)=0
J=0
DO 55 L=1,LL
55 LY1(L)=LY(L)
DO 91 L=1,LL
IF (LY1(L))4,9,4
4 J=J+1
LE(J)=LY(L)
DO5 L1=1,LL
IF (LY1(L)-LY1(L1))5,70,5
70 LY1(L1)=0
LH(J)=LH(J)+1
5 CONTINUE
91 CONTINUE
K=J
PRINT 610,IIS
610 FORMAT (//////10X,9HSEQUENZEN,X,I3,1H.,X,7HORDNUNG//)
PRINT 611,(LE(J),J1=1,K)
611 FORMAT (10X,20I5/)
IF (KSEG=1)2902,2902,2905
2905 KEK=KE(IIS)
READ TAPE 9,((KLE(J2),J2=1,KEK),(KLH(J2),J2=1,KEK))
DO 2907 J4=1,KEK
DO 2907 J5=1,K
IF (LE(J5)=KLE(J4))2907,2908,2907
2908 LH(J5)=LH(J5)+KLH(J4)
2907 CONTINUE

```

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

      GO TO 2901
2902 IF (NV=800) 2901,2900,2900
2900 KE(IIS)=r
      WRITE TAPE 4,((LL(J1),J1=1,K),(LH(J1),J1=1,K))
2901 K2=K
      IF (K=1) 4900,4900,4901
4900 DO 4910 L=1,LL
4910 INFLY(L)=0.
      DO 4911 MK=1,MKK
4911 EPSUM(MK)=0.
      PRINT 4921,IIS
4921 FORMAT (40X,11H5INGULAFERES,X,7HELEMENT,X,3HAUF,X,3HDEM,X,
     913HKONTEXTNIVEAU,15/40X,13HENTROPIE=NULL)
      GO TO 2000
4901 CONTINUE
      FSUM=0.
      DO 9 J=1,K
      LHB(J)=LH(J)
     9 FSUM=FSUM+LHB(J)
      LRB=K
      DO 10 J=1,LRB
10 WHR(J)=LHB(J)/FSUM
      DO 7 IRB=1,LRB
      C=-ALOG(WHR(IRB))
      D=ALOG(2.)
      INB1(IRB)=C/D
      INB1(IRB)=INB1(IRB)+0.9999
     7 INB(IRB)=INB1(IRB)
      PRINT 612
612 FORMAT (/10X,16HKONTEXTHEZGENER,X,16HINFORMATIONSGEHALT//)
      PRINT 613,(INB(IRB),IRB=1,LRB)
613 FORMAT (10X,20I5/)
      ISUM=0.
      DO 36 IRB=1,LRB
36 ISUM=ISUM+INB(IRB)*LHB(IRB)
      DO 37 IRB=1,LRB
      FRW(IRB)=0.
37 FRW(IRB)=(INB(IRB)*1.)/ISUM*LHB(IRB)
      DO 32 L=1,LL
32 INFLY(L)=0.
      DO 34 L=1,LL
      DO 34 IRB=1,LRB
      IF (LY(L)=LEB(IRB)) 34,35,34
35 INFLY(L)=INB(IRB)
34 CONTINUE
      DO 75 MK=1,MKK
      EPSUM(MK)=0
75 EPSUM(MK)=0.
      NV1=NV-IIS+1
      DO 1080 IRB=1,LRB
1080 LCR(IRB)=1
      KAX=0
      DO 80 IX=1,NVI
      L57(IX)=0

```

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

      DO 75 ISZ=1,IIS
      ISZZ=ISZ-1
      IZSZ=IX+ISZZ
      LSZ(IX)=LSZ(IX)+(IIS-ISZZ)*LXX(IZSZ)+LXX(IZSZ)*KCC
      DO 76 MK=1,MKK
      IF(M(MK)-LXX(IZSZ))76,77,76
77  IRSUM(MK)=IRSUM(MK)+1
76  CONTINUE
      DO 71 IRJ=1,LRR
      IF(LEB(IRB)-LSZ(IX))71,73,71
73  IF(LCR(IRB))71,71,1076
1076 DO 72 MK=1,MKK
      IF(IRSUM(MK))72,72,99
99  ERSUM(MK)=ERSUM(MK)+(ERW(IRB)/IIS)/KOMAX*IRSUM(MK)
72  CONTINUE
      LCR(IRB)=0
      KAX=KAX+1
      IF(KAX-LRR)71,2000,2000
71  CONTINUE
      DO 1077 MK1=1,MKK
1077  IRSUM(MK1)=0
80  CONTINUE
2000  CONTINUE
      RETURN
      END

```

FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR HUFFCODE

0 ERRORS

HUFFCODE P 17141 C 12131 D 00000

FOOTRAN (3.1)/MASTER

```

SUBROUTINE PRAEHUFF (NMAX,LGZ,KOMAX,IS)
CHARACTER JLXX
COMMON KSEG,KE(7)
COMMON JLXX(800),LSG(1800),LZ(800)
COMMON INFAL(800),IFDA(800),LXX(800)
COMMON KCC
DIMENSION LSG(1800),LSZ(800),LZ(800),JLXX(800),LXX(800)
REWIND 11
REWIND 12
REWIND 13
N=KOMAX+NMAX-1
DO 1531 IX=1,N
1531 LXX(IX)=JLXX(IX)
IP=-KOMAX
IPP=-1
DO 2500 IISP=IP,IPP
IIS=-IISP
NVI=N-IIS+1
DO 1500 IX=1,NVI
LSZ(IX)=0
DO 1500 ISZ=1,IIS
ISZZ=ISZ-1
I7SZ=IX+ISZZ
1500 LSZ(IX)=LSZ(IX)+(IIS-ISZZ)*LXX(IZSZ)+LXX(IZSZ)*KCC
WRITE TAPE 11,(LSZ(IX),IX=1,NVI)
2500 CONTINUE
REWIND 11
DO 1507 IISP=IP,IPP
IIS=-IISP
NVI=N-IIS+1
READ TAPE 12,((LSG(IX),IX=1,1600)
READ TAPE 11,((LSZ(IX),IX=1,NVI)
DO 1599 IX=1,NVI
LZ(IX)=0
DO 1508 IXZ=1,LGZ
IF(LSG(IXZ)-LSZ(IX))1508,1504,1508
1504 LZ(IX)=LSG(IXZ)
IXI=IX+IIS-1
DO 1520 ITG=IX,IXI
1530 LXX(ITG)=0
1508 CONTINUE
1599 CONTINUE
WRITE TAPE 13,(LZ(IX),IX=1,NMAX)
1507 CONTINUE
REWIND 13
DO 1520 IISP=IP,IPP
IIS=-IISP
READ TAPE 13,((LZ(IX),IX=1,NMAX)
BACKSPACE 13
DO 1590 IX=1,NMAX
IF(LXX(IX))1590,1590,1521
1521 IXI=IX+IIS-1
DO 1400 I7K=IX,IXI
IF(LXX(IZK))1590,1590,1400

```

FORTRAN (3.11) MASTER

```
1800 CONTINUE
DO 1591 IZ=1,IIS
  IZ7=IZ-1
  IZIZ=IX+IZZ
  LZ(IX)=LZ(IX)+(IIS-IZZ)*LXX(IZIZ)+LXX(IZIZ)*KCC
1591 CONTINUE
1590 CONTINUE
WRITE TAPE 13,(LZ(IX),IX=1,NMAX)
1520 CONTINUE
RETURN
END
```

FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR PRAEHUFF

O ERRORS

PRAEHUFF P 02200 C 12131 D 00000

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

SUBROUTINE ICOMP (IC,IS,NMAX)
CHARACTER LX
COMMON KSEG,KE(7)
COMMON LX(800),LSA(1800),LEZA(800)
COMMON INFx(800),INFd(800),LXX(800)
COMMON KCC
DIMENSION INFd(800),INFx(800),INFx1(800)
BACKSPACE 13
READ TAPE 10,(INFx(IX),IX=1,NMAX)
READ TAPE 10,(INFx1(IX),IX=1,NMAX)
READ TAPE 13,(LEZA(IX),IX=1,NMAX)
DO 106 IX=1,NMAX
INFd(IX)=0.
IF (INFx(IX)-INFx1(IX)-IC)106,107,107
107 INFd(IX)=INFx(IX)-INFx1(IX)
IF (LEZA(IX))109,109,106
109 INFd(IX)=0.
106 CONTINUE
WRITE TAPE 14,(INFd(IX),IX=1,NMAX)
RETURN
END)

```

FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR ICOMP

0 ERRORS

ICOMP P 01633 C 12131 D 00000

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

SUBROUTINE DETEKTA (IFDA1,LAZ,KOMAX,NMAX,Y,LVEC,IS)
CHARACTER Y
CHARACTER L
CHARACTER JLXX
COMMON KSEG,KE (7)
COMMON JLXX (800),LSA (1800),LEZA (800)
COMMON INFDA1 (800),IFDA (800),LXX (800)
COMMON KCC
DIMENSION L (7)
DIMENSION IFDA (800),IFDA1 (800),LSA (1800)
DIMENSION JLXX (800),LXX (800),LEZA (800),IVTA (800)
REWIND 14
REWIND 12
REWIND 13
READ TAPE 13, (LEZA (IX),IX=1,NMAX)
READ TAPE 12, (LSA (IX),IX=1,1600)
LAZ=NMAX
KX=0
N=NMAX+KOMAX-1
DO 1091 IX=1,N
1091 LXX (IX)=JLXX (IX)
DO 1090 IX=1,NMAX
1090 IVTA (IX)=0
KOX=KOMAX-1
KRX=0
IP=1-KOMAX
IPP=-IS
1120 DO 1103 IISP=IF,IPP
IIS=-IISP
KAMIN=0
IF (KRX) 1940,1990,1907
1990 READ TAPE 13, (LEZA (IX),IX=1,NMAX)
READ TAPE 12, (LSA (IX),IX=1,1600)
READ TAPE 14, (IFDA (IX),IX=1,NMAX)
DO 1918 IX=1,NMAX
IXIj=IX+IIS-1
DO 1918 IZK=IX,IXI1
IF (IVTA (IZK)) 1918,1918,1919
1919 IFDA (IX)=0.
1918 CONTINUE
DO 1995 IX=1,NMAX
1995 IFDA1 (IX)=IFDA (IX)
1907 DO 1109 IX=1,NMAX
KAMAX=0
IF (IFDA (IX)) 1108,1108,1119
1108 KAMIN=KAMIN+1
IF (KAMIN=NMAX) 1109,2104,2104
2104 IF (KRX) 1104,1104,1103
1119 DO 1107 IX1=1,NMAX
IF (IFDA (IX)-IFDA1 (IX1)) 1110,1107,1107
1110 KAMAX=KAMAX+1
1107 CONTINUE
IF (KAMAX) 1111,1111,1109
1109 CONTINUE

```


FORTRAN (3.1)/MASTER

```

1111 DO 12 K=1,7
  12 L(K)=Y
    IF (KSEG-1) 300F,300H,300G
300F IR=800+JX
    GO TO 301G
300H IR=JX
301G CONTINUE
    K=0
    DO 1112 IEA=1,1IS
      IDA=IEA+1
      IAX=JX+IDA
      LSA(IR)=LSA(IR)+(IIS-IDA)*LXX(IAX)+LXX(IAX)*KCC
      K=K+1
      LVFC=LVEC+1
1112 L(K)=JLXX(IAX)
      PRINT 82,(L(K1),K1=1,7)
      82 FORMAT (30X,12H2SUPERZEICHEN,5X,7A1)
      PRINT 81,LSA(IJ)
      81 FORMAT (30X,16HALPHANUMERTISCHER,X,4HCODE,X,15)
      PRINT 89,IFDA(IJ)
      89 FORMAT (30X,15HENTROPIE DISTANZ,13//)
      DO1115 IX2=1,NMAX
        IXXZ=IX2+IIS-1
        IF (LEZA(IX)-LEZA(IX2)) 1115,1116,1115
1116 DO 1113 ITA=IX2,IXXZ
1113 IVTA(ITA)=1
1115 CONTINUE
      DO 1900 IX=1,NMAX
        IXI1=IX+IIS-1
        DO 1900 IZK=IX,IXI1
          IF (IVTA(IZK)) 1900,1900,1992
1992 IFDA(IX)=0.
          IFDA1(IX)=0.
1900 CONTINUE
      LKON=0.
      DO 1117 IX3=1,NMAX
1117 LKON=LKON+IFDA(IX3)
          IF (LKON) 1104,1104,1114
1104 IF (IISP-IPP) 1199,1105,1105
1199 BACKSPACE 12
          WRITE TAPE 12,(LSA(IX),IX=1,1600)
          READ TAPE 12,(LSA(IX),IX=1,1600)
          BACKSPACE 12
          BACKSPACE 14
          WRITE TAPE 14,(IFDA(IX),IX=1,NMAX)
          KRK=0
1103 CONTINUE
1114 IP=IISP
          KRK=1
          GO TO 1120
1105 CONTINUE
          BACKSPACE 12
          WRITE TAPE 12,(LSA(IX),IX=1,1600)
          READ TAPE 12,(LSA(IX),IX=1,1600)

```

FORTBAN (3.1)/MASTER

```
BACKSPACE 12
BACKSPACE 14
WRITE TAPE 14, (IFUA(IX), IX=1, NMAX)
PRINT 3005
3005 FORMAT (1X, 7HDETAKTA, X, 4HEND)
RETURN
END
```

FORTBAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR

DETEKTA

0 ERRORS

```
DETEKTA P 02633 C 12131 D 00004
DEF(0,,MLIR,MASTER,MSFTNLIR,E1,MFTN,I)
DEF(0,,MDIR,MASTER,MSFTNLIR-DIR,E1,MFTN,I)
,LGO
UX,MLIR,MDIR
```



. S U B R O U T I N E H U F F C O D E
E F F E K T I V C O D I E R U N G

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

SURPOUTINE HUFFCODE(FM,MKK,LL,KOMAX,IIS,NV,ERSUM)
CHARACTER KLF
CHARACTER JLXX,EM
COMMON KSFG,KE(7)
COMMON JLXX(800),LSA(1800),LEZA(800)
COMMON INFLY(800),IFDA(800),LXX(800)
COMMON KCC
DIMENSION KE(7),KLE(800),KLH(800)
DIMENSION EM(30)
DIMENSION LHR(400),LELR(400),LR(400),LECR(400),LC(400),MER(400,2)
DIMENSION LY(800),LE(400),LH(400),LH1(400)
DIMENSION LHH(400),LFB(400),INB(400),LY1(800),M(30),JLXX(800)
DIMENSION LXX(800),LSZ(800),LCR(400)
DIMENSION INFLY(800),ERW(400),ERSUM(30),IRSUM(30)
EQUIVALENCE (LXX,LY1,KLE),(LY,LEZA,KLH,LSZ)
EQUIVALENCE (LCR,LH)
DO 424 MK=1,MKK
424 M(MK)=EM(MK)
IF(IIS-1)127,127,120
127 REWIND 13
120 READ (13) (LY(IX),IX=1,LL)
DO1 J=1,400
LE(J)=0
1 LH(J)=0
J=0
DO 55 L=1,LL
55 LY1(L)=LY(L)
DO 91 L=1,LL
IF(LY1(L))4,91,4
4 J=J+1
LE(J)=LY(L)
DO 5 L1=1,LL
IF(LY(L)-LY1(L1))5,70,5
70 LY1(L1)=0
LH(J)=LH(J)+1
5 CONTINUE
91 CONTINUE
K=J
PRINT 610,IIS
610 FORMAT (//////10X,9HSEQUENZEN,1X,I3,1H.,1X,7HORDNUNG//)
PRINT 611,(LE(J1),J1=1,K)
611 FORMAT (10X,20I5/)
IF(KSFG-1)2902,2902,2905
2905 KEK=KE(IIS)
READ(9) ((KLE(J2),J2=1,KEK),(KLH(J2),J2=1,KEK))
DO 2907 J4=1,KEK
DO 2907 J5=1,K
IF(LE(J5)-KLE(J4))2907,2908,2907
2908 LH(J5)=LH(J5)+KLH(J4)
2907 CONTINUE
GO TO 2901
2902 IF(NV-800)2901,2900,2900
2900 KE(IIS)=K
WRITE(9) ((LE(J1),J1=1,K),(LH(J1),J1=1,K))

```

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

2901 K2=K
      IF (K-1) 4900,4900,4901
4900 DO 4910 L=1,LL
4910 INFLY(L)=0.
      DO 4911 MK=1,MKK
4911 ERSUM(MK)=0.
      PRINT 4921, IIS
4921 FORMAT (40X,11HSINGULAERFS,1X,7HELEMENT,1X,3HAUF,1X,3HDEM,1X,
913HKONTEXTNIVEAU,15/40X,13HENTROPIE=NULL)
      GO TO 2000
4901 CONTINUE
      DO 11 KL=1,K2
      LKK=KL-1
      K=K2-LKK
      DO7 J=1,K
      J1=J
7  LH1(J1)=LH(J)
      DO8 JR=1,K
      LHR(JR)=0
8  LER(JR)=0
      JR=0
6  J=0
      DO9 J=1,K
      J1=0
      DO10 J1=1,K
      IF (LH(J)-LH1(J1)) 9,10,10
10 CONTINUE
      JR=JR+1
      LHR(JR)=LH(J)
      LER(JR)=LE(J)
      LH(J)=0
      LH1(J)=-1
      IF (JR=K) 6,9,9
9 CONTINUE
      LR(KL)=K
      LRS=LR(KL)
      IF (KL-1) 14,14,15
14 LRB=LR(KL)
      DO16 IRB=1,LRB
      JR=IRB
      LEB(IRB)=LER(JR)
      INB(IRB)=0
16 LHR(IRB)=LHR(JR)
      DO23 K1=1,K
      DO 23 LRS1=1,2
23 MER(KL),LRS1)=0
15 MER(KL,1)=LER(K-1)
      MER(KL,2)=LER(K)
      LECR(1)=MER(KL,1)
      LECR(2)=MER(KL,2)
      JCRS=2
      JCRSX=2
      JSX=1
      DO 103 IPR=1,LRB

```

FO TRAN (3.1)/MASTER

```

103 LC(IRB)=0
102 DO18 JCR=JSX,JCRSX
    DO18 KLS=1,KL
    IF (LECR(JCR)-MER(KLS,1))18,21,18
21 DO18 IRB=1,LRB
    IF (LEB(IRB)-MER(KLS,1))18,26,18
26 IF (LC(IRB))29,29,27
29 INH(IRB)=INH(IRB)+1
    LC(IRB)=1
27 DO 108 IRB1=1,LRB
    IF (LEB(IRB1)-MER(KLS,2))108,106,108
106 IF (LC(IRB1))107,107,108
107 INH(IRB1)=INH(IRB1)+1
    LC(IRB1)=1
108 CONTINUE
    IF (KL-KLS)18,18,104
104 JCRS=JCRS+1
    LECR(JCRS)=MER(KLS,2)
18 CONTINUE
    IF (JCRS-JCRSX)100,100,101
101 JSX=JCRSX+1
    JCRSX=JCRS
    GO TO 102
100 CONTINUE
    K1=K-1
    DO 30 JR=1,K1
    J=JR
    LH(J)=LHR(JR)
30 LE(J)=LEF(JR)
    LH(K1)=LHR(K1)+LHR(K1+1)
    IF (LR(KL)-2)12,12,11
11 CONTINUE
12 CONTINUE
    PRINT 612
612 FORMAT (//10X,16H KONTEXTREZUGENER,1X,18H INFORMATIONSGEHALT//)
    PRINT 613,(INH(IRB1),IRB1=1,LRB)
613 FORMAT (10X,20I5/)
    ISUM=0
    DO 124 IX=1,NV
124 LXX(IX)=JLXX(IX)
    DO 36 IRB=1,LRB
36 ISUM=ISUM+INH(IRB)*LHB(IRB)
    DO 37 IRB=1,LRB
    ERW(IRB)=0.
37 ERW(IRB)=((INH(IRB)*1.)/ISUM)*LHB(IRB)
    DO 32 L=1,LL
32 INFLY(L)=0.
    DO 34 L=1,LL
    DO 34 IRB=1,LRB
    IF (LY(L)-LEB(IRB))34,35,34
35 INFLY(L)=INH(IRB)
34 CONTINUE
    DO 75 MK=1,MKK
    IRSUM(MK)=0

```

FO TRAN (3.1)/MASTER

```

75 ERSUM(MK)=0.
   NVI=NV-IIS+1
   DO 1080 IRB=1,LRB
1080 LCR(IRB)=1
   KAX=0
   DO 80 IX=1,NVI
   LSZ(IX)=0
   DO 76 ISZ=1,IIS
   ISZ=ISZ-1
   IZSZ=IX+ISZ7
   LSZ(IX)=LSZ(IX)+(IIS-IZSZ)*LXX(IZSZ)+LXX(IZSZ)*KCC
   DO 76 MK=1,MKK
   IF(M(MK)-LXX(IZSZ))76,77,76
77 IRSUM(MK)=IRSUM(MK)+1
76 CONTINUE
   DO 71 IRB=1,LRB
   IF(LCR(IRB)-LSZ(IX))71,73,71
73 IF(LCR(IRB))71,71,1076
1076 DO 72 MK=1,MKK
   IF(IRSUM(MK))72,72,99
99 ERSUM(MK)=ERSUM(MK)+((ERW(IRB)/IIS)/KOMAX)*IRSUM(MK)
72 CONTINUE
   LCR(IRB)=0
   KAX=KAX+1
   IF(KAX-LRB)71,2000,2000
71 CONTINUE
   DO 1077 MK1=1,MKK
1077 IRSUM(MK1)=0
80 CONTINUE
2000 CONTINUE
RETURN
END

```

FORTAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR

HUFFCODE

ERRORS

HUFFCODE P 15710 C 12131 D 00000



M O D E L L P R O G N O S E

FORTPAN (3,1)/MASTER

```

PROGRAM PROG1
INTEGER C
DIMENSION Z(100),W7(100)
DIMENSION NAS(40),TLK(40),NR(40)
DIMENSION W(20,50),WW(20),CHI(20),PS(10),PK(10),FK(10),PEFF(10)
DIMENSION PEFFR(10),PFFF1(10),ISK(10),ISKR(10,40)
DIMENSION PDET(10,40),PL(10),SPDET(10)
DIMENSION P(10),PSA(10)
DIMENSION LC(10)

READ(60,12)KMI,KMI1
12 FORMAT (2I8)
READ(60,13)NGES,NV,C,KON,KOMAX,IKK,IL,ICC
13 FORMAT (8I8)
READ(60,14)KPART
14 FORMAT (I8)
READ(60,15)(ISK(KS),KS=1,KON)
15 FORMAT (6I8)
READ(60,16)D,E,F,G,MX
16 FORMAT (4F10.4,I5)
READ(60,17)(WW(I),I=1,IL)
17 FORMAT (4F10.4)
READ(60,18)(CHI(I),I=1,IL)
18 FORMAT (4F10.4)
READ(60,19)IWI,IWK,IWN
19 FORMAT (3I8)
READ(60,8025)(Z(IW),IW=1,IWK)
8025 FORMAT (5F10.4)
READ(60,8026)(WZ(IW),IW=1,IWK)
8026 FORMAT (5F10.4)
KMK=0
1632 CONTINUE
IF(KPART)2100,2100,2200
2100 PRINT 2010
2010 FORMAT (40X,40HDETEKTIONSVERZÖGERNDES INITIALKOLLEKTIV/40X,
340H=====//)
GO TO 2015
2200 PRINT 2011
2011 FORMAT (40X,43HDETEKTIONSBEFACHEUNIGENDES INITIALKOLLEKTIV/40X,
443H=====//)
2015 CONTINUE
C
C VARIATION DER WAHRSCHEINLICHKEITSSTRUKTUR
C
PS(1)=1.
DO 4001 KM=2,KON
4001 PS(KM)=0.
DO 4002 KM=KMI,KMI1
PS(1)=PS(1)-D*KM
DO 9137 KIL=2,KON
9137 PS(KIL)=(KM*D/F)*(KON-KIL+1)
IF(PS(1)-PS(2))1701,1703,1703
1703 CONTINUE
PRINT 2013,(ISK(KS),KS=1,KON),(PS(KS),KS=1,KON)
2013 FORMAT (20X,29HSUPERKONTEYTF
618/20X,

```

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

      529HWAHRSCHAEINLICHKEITSTRUKTUR 6F8.4//)
      PRINT 8007
      8007 FORMAT (/20X,29HMATRIX DER KOLLEKTIVVARIATION /)
      DO 97 I=1,KON
      97 PSA(I)=PS(I)
C
C      VARIATION DER KRITISCHEN INFORMATIONSDISTANZ
C
      KF=0
      DO 1222 IC=IWI,ICC
      PRINT 2017,IC
      2017 FORMAT (20X,29HKRITISCHE INFORMATIONSDISTANZ,X,IS//)
      DO 1315 K10=1,KON
      1315 ILK(K10)=0
      DO 1335 IM5=1,IKK
      1335 NR(IM5)=0
      REWIND 9
      DO 1330 KT=1,KON
      DO 1330 IW=IWD,IWK
      DO 1331 IM1=1,IKK
      1331 NAS(IM1)=0
      WRITE(9)(NAS(IM2),IM2=1,IKK)
      1330 CONTINUE
      DO 1311 IW=IWD,IWK
      KF=KF+1
      WK=2*WZ(IW)
C
C      VARIATION DER GERICHTETEN KONFIDENZWAHRSCHAEINLICHKEIT
C
      DO 600 I=1,IL
      KU=KON-1
      600 W(I,IW)=(1.-2*WW(TI/2.**KI))*WK
      I=3
C
C      DEFINITIONEN BZW. WIEDERHERSTELLUNG DER AUSGANGSSITUATION
C      FUER DEN GESAMTVERSUCH
C
      DO 1028 KS6=1,KON
      1028 PL(KS6)=PSA(KS6)
      DO 1021 KS=1,KON
      1021 PS(KS)=PSA(KS)
      CRIT=1./2**IC
      KSD=0
      IMI=1
      IMK=0
      DO 98 K=1,KON
      98 LC(K)=0
      IKON=0
C
C      BEGINN DES DETEKTIONSPROZESSES
C      FUER SUPERKONTEXT K UFRER DIE VERSUCHSSTADIEN IM
C
      1614 CONTINUE
      LX=0

```

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

      KFF=0
      DO 1030 K=1,KON
        IF (LC(K)) 1615,1615,1616
1616 GO TO 1030
1615 CONTINUE
      NES=NGFS-KOMAX+1
      DO 1004 IM=IMI,IKK
        KFF=KFF+1

```

C
C DEFINITION BZW. WIEDERHERSTELLUNG DER AUSGANGSSITUATION
C FUER EIN VERSUCHSSTADIUM
C

```

      IKON=IKON+1
      SPDET(K)=0.
      PDET(K,IM)=0.
      NMAX=IM*NV-KOMAX+1
      FMIT=NMAX/KON
      UW2=0.
      FWS1=0.
      FWS2=0.
      NSL1=0
      NSL2=0
      IF (IKON-1) 811,811,812
812 DO 813 KS=1,KON
813 PEFF(KS)=PS(KS)
      GO TO 814
811 CONTINUE

```

C
C KONSTRUKTION DES MAXIMAL ABWEICHENDEN INITIALKOLLEKTIVS
C UEBER DIE CHI-QUADRATFUNKTION
C

```

      DO 90 KS=1,KON
        FK(KS)=NMAX*PS(KS)
        IF (FK(KS)-FMIT) 81,91,92
81 NSL1=NSL1+1
        FWS1=FWS1+FK(KS)**0.5
        GO TO 90
82 NSL2=NSL2+1
        FWS2=FWS2+FK(KS)**0.5
80 CONTINUE
      UW2=CHI(1)/(FWS2/FWS1*NSL1+NSL2)
      CHID2=UW2**0.5
      CHID1=(CHI(1)-NSL2*CHID2)/NSL1
      DO 202 KS=1,KON
        IF (KPART-1) 202,202,200
200 IF (FK(KS)-FMIT) 204,204,203
202 IF (FK(KS)-FMIT) 203,203,204
203 SL1=FK(KS)*CHID1

```

```

      PEFF(KS)=(FK(KS)+SL1**0.5)/NMAX
      IF (PEFF(KS)-1.) 62,62,63
63 PRINT 6003
6003 FORMAT (20X,31HNICHTOPTIMALES INITIALKOLLEKTIV//)
      KMK=KM
      PS(1)=1.

```

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

      GO TO 4002
    62 CONTINUE
      GO TO 205
    204 SL2=FK(KS)*CHID2
      PEFF(KS)=(FK(KS)-S1/2**0.5)/NMAX
      IF(PEFF(KS))64,65,65
    64 PEFF(KS)=0.
    65 CONTINUE
    205 CONTINUE

    814 CONTINUE
      IF(KF=1)8001,8001,8002
    8001 IF(KFF=IM)8004,8004,8005
    8005 KFF=IM
      GO TO 8002
    8004 PRINT 8003, (PEFF(KS), KS8=1, KON)
    8003 FORMAT (20X, 6F8.4)
    8002 CONTINUE

C      WIEDERHERSTELLUNG DER WAHRSCHEINLICKEITSRANGORDNUNG
C
      DO 7 J=1, KON
    7 PEFF1(J)=PEFF(J)
      JR=0
    6 DO 9 J=1, KON
      J1=0
      DO 10 J1=1, KON
        IF (PEFF(J)-PEFF1(J1))9,10,10
    10 CONTINUE
      JR=J1+1
      PEFFR(JR)=PEFF(J)
      ISKR(JR,IM)=ISK(J)
      PEFF(J)=0.
      PEFF1(J)=-1.
      IF (JR-KON)6,9,9
    9 CONTINUE

C      DETEKTIONSPHASE
C
      DO 1035 KS2=1, KON
      KS3=KON-KS2+1
      PMIN=PEFFR(KS3)/C
      IF (PMIN)3010,3010,3011
    3010 PMIN=1.
    3011 CONTINUE

C      DETEKTIONSBEDINGTE KORREKTUR DER MINIMALWAHRSCHEINLICHKEIT
C
      DO 408 K2=1, KON
      IF (ISKR(KS3)-ISK(K2))408,410,408
    410 GO TO 411
    408 CONTINUE
    411 IF (LC(K2))404,404,405
    405 PMIN=1.
      GO TO 1035

```

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

404 CONTINUE
NREN=NMAX
NREN1=NMAX
IF (KSD) 401, 401, 402
402 DO 403 K0=1, KSD
NREN=NREN*(1.-C*P(KSD))*(1.-P(KSD))
NREN1=NREN1*(1.- (C+1.) *P(KSD)*(1.-P(KSD)))
403 PMIN=PMIN*NREN/NREN1

```

C
C PRUEFUNG DER MINIMALWAHRSCHEINLICHKEIT AUF DETEKTIONSRELEVANZ

```

401 IF (CRIT-PMIN) 1005, 1007, 1007
1005 IF (KS2-1) 2004, 2004, 1035
1007 DO 207 KS1=1, KON
IF (JSK(K)-ISKR(KS1, IM)) 207, 209, 207
209 PK(K)=PEFFR(KS1)/C
207 CONTINUE

```

C
C DETEKTIONSBEDINGTE KORREKTUR DER MAXIMALWAHRSCHEINLICHKEIT

```

IF (KSD) 501, 501, 502
502 PK(K)=PK(K)*NMAX/NREN

```

C
C ERRECHNUNG DER DETEKTIONSWAHRSCHEINLICHKEIT
C FUER VERSUCHSSTADIUM IM

```

501 PDET(K, IM)=PK(K)*PMIN
SPDET(K)=SPDET(K)+PDET(K, IM)
CK=PK(K)*(1./C)
IF (CK-SPDET(K)) 1080, 1080, 1079
1079 CONTINUE
Q=((NFS-NMAX)/(NFS-1))*0.5
R=((SPDET(K)*(1.-SPDET(K)))/NMAX)*0.5
IF (KPART) 8020, 8020, 8021
8021 PQR=SPDET(K)+Q*R*7.(TW)
GO TO 8022
8020 PQR=SPDET(K)-Q*R*7.(TW)
8022 CONTINUE
PCRIT=1./NMAX
IF (PQR-PCRIT) 8008, 8011, 8011
8011 GO TO 1080
8008 CONTINUE
IF (KS2-KON) 1035, 1082, 1082
1035 CONTINUE
1082 CONTINUE
GO TO 2004
1080 K7=K-1
REWIND 9
IF (K7=0) 1469, 1469, 1468
1468 CONTINUE
DO 1332 K3=1, K7
DO 1332 IW=IWD, IWK

```

```

1332 READ(9)
1469 CONTINUE

```

FORTRAN (3.1)/MASTER

DO 1340 IWK=IWD,IW

1340 READ(9) (NAS(IM2),IM2=1,IKK)
BACKSPACE 9
NAS(IM)=ISK(K)
WRITE(9) (NAS(IM3),IM3=1,IKK)
READ(9)
REWIND 9
ILK(K)=ILK(K)+1

LX=1

LC(K)=1

KSD=KSD+1

IF(KSD-KON) 3016,1311,1311

3016 CONTINUE

IMI=IM

C

C

KONSTRUKTION DES RESIDUALKONTEXTES

C

2004 CONTINUE

IF(IMK=IM) 1621,1620,1620

1621 CONTINUE

DO 211 KS=1,KON

DO 211 KS1=1,KON

IF(ISK(KS)=ISKR(KS1,IM)) 211,212,211

212 CONTINUE

PL(KS)=(NES*PSA(KS)-NMAX*PEFFR(KS1))/(NES-NMAX)

PS(KS)=(NV*IM*PEFFR(KS1)+NV*PL(KS))/(NV*IM+NV)

P(KS)=PS(KS)/C

211 CONTINUE

IMK=IM

1620 CONTINUE

IF(LX) 147,147,148

148 GO TO 1030

147 CONTINUE

1004 CONTINUE

GO TO 1311

1030 CONTINUE

IF(IM=40) 1613,1311,1311

1613 IMI=IM+1

GO TO 1614

1311 CONTINUE

C

C

MODELL = OUTPUT

C

DO 1312 K11=1,KON

IF(ILK(K11)) 1313,1312,1314

1313 PRINT 1348,ISK(K11),IC

1348 FORMAT (/10X,12H5110F0KONTEXT,I3,35H BEI EINER INFORMATIONS-DISTANZ

4VON ,I3,31H N I C H T D E T I Z I E R T ///)

GO TO 1312

1314 PRINT 1316,ISK(K11),IC

1316 FORMAT(/10X,44HDETEKTIONS-KONFIDENZMATRIX FUER SUPERKONTEXT,I3,

535H BEI EINER INFORMATIONS-DISTANZ VON ,I3/)

REWIND 9

K12=K11-1

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

      DO 1333 K4=1,K12
      DO 1333 Iw3=IwD,IwK
1333 READ(9)
      DO 1313 IM1=1,IKK
1313 NR(IM1)=IM1
      PRINT 1319,(NR(IM2),IM2=1,IKK)
1319 FORMAT (1X,11HKONEIDFNZ .4X.40I3)
      DO 1317 Iw4=IwD,IwK
      READ(9) (NAS(IM1),IM1=1,IKK)
      PRINT 1320,w(I,Iw4),Iw4,(NAS(IM3),IM3=1,IKK)
1320 FORMAT (1X,F8.4,2X,I3,2X.40I3)
1317 CONTINUE
1312 CONTINUE
1222 CONTINUE
      PS(1)=1.
      DO 4027 IA=2,KOH
4027 PS(IA)=0.
4002 CONTINUE
1701 CONTINUE
      PRINT 1702
1702 FORMAT(///30X,26HKOLLEKTIVVARIATION BEENDET)
      IF(KPART)1630,1630,1631
1631 KPART =0
      GO TO 1632
1630 CONTINUE
      END

```

FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR

PROG1

NO ERRORS

```

      PROG1      P      13424      C      00000      D      00000
      *DEF(N,MLIR,MASTER,MSFTNLIH,EI,MFTN,I)
      *DEF(N,MDIR,MASTER,MSFTNLIH-DIR,EI,MFTN,I)
      X,LGO
      AUX,MLIR,MDIR

```

P R O G R A M M A K K O M M O D

FORTRAN (3,1)/MASTER

```

PROGRAM AKKOMMOD
DIMENSION HSEMP(24)
DIMENSION BDIFF(6),BGES(6),REMP(6),WCHIB(17),SBEMP(6),SCGES(24)
DIMENSION SBGES(6),SBIFF(6)
DIMENSION MED(9,24)
DIMENSION AGES(24),ADIFF(24),SDIFF(24),SHEMP(24),WCHI(20),VCHI(20)
DIMENSION VE(10),EDIFF(10),EEMP(10),HEMP(17,24),ME(9,17),WA(24,40)
DIMENSION WS(24)
READ(60,25)KVK,MKK,KOX,MES
25 FORMAT (4I5)
READ(60,29)IKK,KANZ,CHITH,CHIT1,P,CHITB,CHIB1
29 FORMAT (2I5,5F10.4)
READ(60,27)((MED(ME,MK),ME=1,MES),MK=1,MKK)
27 FORMAT (24(9I8/))
READ(60,22)((HEMP(KV,MK),KV=1,KVK),MK=1,MKK)
22 FORMAT (24(17F4.0/))
DO 3006 KV=1,KVK
SKON=0.
DO 3004 MK=1,MKK
3004 SKON=SKON+HEMP(KV,MK)
PRINT 3005,KV,(HEMP(KV,MK),MK=1,MKK),SKON
3005 FORMAT (/14H VP,I5,X,8F10.4/2(20X,8F10.4/),20X,9HKONTRO
3LLE,X,5H$KON=,F10.4///)
3006 CONTINUE
DO 1000 KMO=1,KANZ
BCHI=0.
SCHI=0.
XCHI=0.
DO 100 MK=1,MKK
AGES(MK)=0.
ADIFF(MK)=0.
SDIFF(MK)=0.
WS(MK)=0.
100 SHEMP(MK)=0.
DO 200 KV=1,KVK
WCHI(KV)=0.
WCHIB(KV)=0.
200 VCHI(KV)=0.
DO 300 ME=1,MES
VE(ME)=0.
EDIFF(ME)=0.
300 EEMP(ME)=0.
READ(60,196)IKR,ILU
196 FORMAT (2I8)
READ(60,24)KMOD,IC
24 FORMAT (2I5/)
PRINT 109,KMOD,IC
109 FORMAT (40X,10HERGEBNISSE,X,4HFUER,X,6HMODELL,X,I3/
940X,3HREI,X,5HEINER,X,1SHENTROPIEDISTANZ,X,3HVON,X,I3///)
READ(60,23)((WA(MK,KIM),MK=1,MKK),KIM=1,IKR)
23 FORMAT (3(8F10.4/))
IF(IKR=IKK)193,195,195
193 IR=IKR-ILU+1
DO 194 KIM=ILU,IKR

```

FO-TRAN (3.1)/MASTER

```

DO 194 MK=1,MKK
194 WS(MK)=WS(MK)+WA(MK,KIM)/IR
   ISR=IKR*1
   DO 197 KIM=ISR,IKK
   DO 197 MK=1,MKK
197 WA(MK,KIM)=WS(MK)
   PRINT 399,ISR,IKK,ILU,IKR
399 FORMAT(40X,31HSCHAETZUNG DER VERSUCHSVEKTOREN,I5,X,3HBIS,I5,X/
640X,50HAUS DEN EQUILIBRIERTEN WAHRSCHEINLICHKEITSVEKTOREN,I5,X,
73HBIS,I5//)
195 CONTINUE
   AKON=0.
   VKON=0.
   DO 9 MK=1,MKK
   DO 5 KIM=1,IKK
5   AGES(MK)=AGES(MK)+WA(MK,KIM)*20.
9   AKON=AKON+AGES(MK)
   PRINT 207,AKON
207 FORMAT(////10X,9HKONTROLLE,X,5HAKON=,F10.4///)
   PRINT 301,(AGES(MK),MK=1,MKK)
301 FORMAT (10X,12F9.4)
   DO 51 ME=1,MES
   VE(ME)=0.
   DO 52 MK=1,MKK
52  VE(ME)=VE(ME)+AGES(MK)*MED(ME,MK)
51  VKON=VKON+VE(ME)
   PRINT 201,VKON
201 FORMAT (////10X,9HKONTROLLE,X,5HVKON=,F10.4///)
   PRINT 302,(VE(ME),ME=1,MES)
302 FORMAT (10X,9F10.4)
   PRINT 140
140 FORMAT (////////50X,16HDYADENAUSWERTUNG///)
   CALL SUP (AGES,BGES,MKK)
   DO 6 KV=1,KVK
   KRK=0
   DO 402 MK=1,MKK
402 HSEMP(MK)=HEMP(MK,KV)
   CALL SUP (HSEMP,BEMP,MKK)
   DO 7 MK=1,MKK
   ADIFF(MK)=(AGES(MK)-HEMP(KV,MK))*2
   ADIFF(MK)=ADIFF(MK)/AGES(MK)
7   WCHI(KV)=WCHI(KV)+ADIFF(MK)
   PRINT 701
701 FORMAT (40X,15HDYADENANZAHL=24//)
   PRINT 101,KV,WCHI(KV)
101 FORMAT (40X,14HVERSUCHSPERSON,X,I5,3X,12HCHI=QUADRAT=,F10.4)
   IF (WCHI(KV)-CHITH)1099,1099,8
1099 PRINT 1098,(AGES(MK),MK=1,MKK),(HEMP(KV,MK),MK=1,MKK)
1098 FORMAT(2(10X,12F9.4)/)
   GO TO 99
710 KRK=1
   KBB=MKK/4
   DO 700 KB=1,KBB
   BDIFF(KB)=(BGES(KB)-BEMP(KB))*2

```

FO TRAN (3,1)/MASTER

```

      BDIFF(KB)=BDIFF(KB)/BGES(KB)
700 WCHIB(KV)=WCHIB(KV)+BDIFF(KB)
      PRINT 702
702 FORMAT (40X,15HDYADENANZAHL= 6//)
      PRINT 703,KV,WCHIB(KV)
703 FORMAT (40X,14HVERSUCHSPERSON,X,15,3X,12HCHI-QUADRAT=,F10,4)
      IF(WCHIB(KV)-CHITB)199,199,8
199 PRINT 198,(BGES(KB),KB=1,KBB),(SBEMP(KB),KB=1,KBB)
198 FORMAT (10X,6F9,4//)
      GO TO 99
99 PRINT 102,P
102 FORMAT (50X,21HANPASSUNGSSIGNIFIKANZ,X,3HAUF,3HDEM,X,
16HNIVEAU,X,F10,4////)
      GO TO 706
8 PRINT 103
103 FORMAT (50X,5HNICHT,X,11HSIGNIFIKANT////)
706 IF(KRK)6,710,6
6 CONTINUE
1111 CONTINUE
      KRK=0
      DO 12 MK=1,MKK
      DO 13 KV=1,KVK
13  SHEMP(MK)=SHEMP(MK)+HEMP(KV,MK)
      SDIFF(MK)=(KVK*AGES(MK)-SHEMP(MK))*2
      SDIFF(MK)=SDIFF(MK)/(KVK*AGES(MK))
12  SCHI=SCHI+SDIFF(MK)
      SCHI=SCHI/KVK
      PRINT 714
714 FORMAT (40X,15HDYADENANZAHL=24//)
      PRINT 108,SCHI
108 FORMAT (40X,14HGESAMTREAKTION,3X,12HCHI-QUADRAT=,F10,4)
      IF(SCHI-CHITH)1017,1017,21
1017 DO 1016 J=1,MKK
1016 SHEMP(J)=SHEMP(J)/KVK
      PRINT 1015,(AGES(MK),MK=1,MKK),(SHEMP(MK),MK=1,MKK)
1015 FORMAT (2(10X,12F9,4)/)
      DO 1018 J=1,MKK
1018 SHEMP(J)=SHEMP(J)+KVK
      GO TO 17
712 KRK=1
      KBB=MKK/4
      CALL SUP (SHEMP,SBEMP,MKK)
      DO 728 MK=1,MKK
728  SCGES(MK)=KVK*AGES(MK)
      CALL SUP (SCGES,SBGES,MKK)
      DO 711 KB=1,KBB
      SBIFF(KB)=(SBEMP(KB)-SBGES(KB))*2
      SBIFF(KB)=SBIFF(KB)/SBGES(KB)
711  BCHI=BCHI+SBIFF(KB)
      BCHI=BCHI/KVK
      SBKON=0.
      DO 3008 KB=1,KBB
3008 SBKON=SBKON+SBGES(KB)
      PRINT 713

```

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

713 FORMAT (40X,15HDYADENANZAHL= 6//)
    PRINT 916, (SBGES(KB), KB=1, K88)
916 FORMAT (10X, 6F10.4///)
    PRINT 917, SBKON
917 FORMAT (/10X, 9HKONTROLLE, X, 6HSBKON=, F10.4///)
    PRINT 715, BCHI
715 FORMAT (40X, 14HGESAMTREAKTION, 3X, 12HCHI-QUADRAT=, F10.4)
    IF (BCHI-CHIB1) 117, 117, 21
117 DO 116 KB=1, K88
116 SBEMP(KB)=SBEMP(KB)/KVK
    PRINT 115, (SBGES(KB), KB=1, K88), (SBEMP(KB), KB=1, K88)
115 FORMAT (10X, 6F9.4/)
    GO TO 17
17 PRINT 119, P
119 FORMAT (50X, 21HANPASSUNGSSIGNIFIKANZ, X, 3HAUF, X, 3HDEM, X,
16HNIVEAU, X, F10.4////)
    GO TO 716
21 PRINT 110
110 FORMAT (50X, 5HNICHT, X, 11HSIGNIFIKANT////)
716 IF (KRK) 79, 712, 79
79 CONTINUE
    PRINT 104
104 FORMAT (/////////50X, 17HELEMENTAUSWERTUNG///)
    DO 31 KV=1, KVK
    DO 31 ME=1, MES
    HE(ME, KV)=0.
    DO 31 MK=1, MKK
31 HE(ME, KV)=HE(ME, KV)+HEMP(KV, MK)*MED(ME, MK)
    DO 60 KV=1, KVK
    DO 70 ME=1, MES
    EDIFF(ME)=(VE(ME)-HE(ME, KV))*2
    EDIFF(ME)=EDIFF(ME)/VE(ME)
70 VCHI(KV)=VCHI(KV)+EDIFF(ME)
    PRINT 105, KV, VCHI(KV)
105 FORMAT (40X, 14HVERSUCHSPERSON, X, 15, 3X, 12HCHI-QUADRAT=, F10.4)
    IF (VCHI(KV)=CHIT1) 901, 901, 80
901 PRINT 902, (VE(ME), ME=1, MES), (HE(ME, KV), ME=1, MES)
902 FORMAT (10X, 9F9.4/)
    GO TO 90
90 PRINT 106, P
106 FORMAT (50X, 21HANPASSUNGSSIGNIFIKANZ, X, 3HAUF, X, 3HDEM, X,
16HNIVEAU, X, F10.4////)
    GO TO 80
80 PRINT 107
107 FORMAT (50X, 5HNICHT, X, 11HSIGNIFIKANT////)
60 CONTINUE
1112 CONTINUE
    DO 120 ME=1, MES
    DO 130 KV=1, KVK
130 EEMP(ME)=EEMP(ME)+HE(ME, KV)
    EDIFF(ME)=(KVK*VE(ME)-EEMP(ME))*2
    EDIFF(ME)=EDIFF(ME)/(KVK*VE(ME))
120 XCHI=XCHI+EDIFF(ME)
    XCHI=XCHI/KVK

```

FO·TRAN (3.1)/MASTER

```

      PRINT 111,XCHI
111  FORMAT(40X,14HGESAMTREAKTION,3X,12HCHI=QUADRAT=,F10.4)
      IF(XCHI=CHIT1)1700,1700,210
1700 DO 1701 ME=1,MES
1701 EEMP(ME)=EEMP(ME)/KVK
      PRINT 1702,(VE(ME),ME=1,MES),(EEMP(ME),ME=1,MES)
1702 FORMAT(10X,9F9.4/)
      GO TO 170
170  PRINT 112,P
112  FORMAT(50X,21HANPASSUNGSSIGNIFIKANZ,X,3HAUF,X,3HDEM,X,
16HNIVEAU,X,F10.4////)
      GO TO 310
210  PRINT 113
113  FORMAT(50X,5HNICHT,X,11HSIGNIFIKANT////)
310  CONTINUE
1000 CONTINUE
      END

```

FORTAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR

AKKOMMOD

NULL STATEMENT NUMBERS

1112 1111

AKKOMMOD P 12651 C 00000 D 00000

FORTRAN (3.1)/MASTER

```

      SUBROUTINE SUP (ADYA,ASUP,MKK)
      DIMENSION ASUP(6),ADYA(24)
      KR=MKK/4
      KB=0
      DO 407 K=1,KR
407  ASUP(K)=0.
      MS=1
      DO 401 MK=1,MKK
      KB=KB+1
      ASUP(MS)=ASUP(MS)+ADYA(MK)
      IF(KB-4)401,402,402
402  MS=MS+1
      KB=0
401  CONTINUE
      RETURN
      END

```

FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR SUP

) ERRORS

```

      SUP      P      00172      C      00000      D      00000
)EF(0,,MLIB,MASTER,MSFTNLIB,E1,MFTN,I)
)EF(0,,MDIR,MASTER,MSFTNLIB=DIR,E1,MFTN,I)
,LGO
JX,MLIB,MDIR

```


Lebenslauf

Ich bin am 11. April 1941 in Münchberg/Ofr. geboren.
Von September 1947 bis Juli 1952 besuchte ich in
Bayreuth die Volksschule, von September 1952 bis
Juli 1961 die dortige Oberrealschule. Am 19. Juli
1961 erhielt ich an dieser Anstalt das Reifezeugnis.

Im November 1961 begann ich an der Friedrich-Alexan-
der-Universität zu Erlangen-Nürnberg mit dem Studium
der Psychologie. Am dortigen Institut für Psychologie,
Vorstand Prof. Dr. W. Toman , legte ich im November
1964 die Diplomvorprüfung für Psychologen ab. Meine
Zulassungsarbeit befaßte sich mit dem Thema der " In-
formationellen Akkommodation" .

Von März 1965 bis Februar 1966 war ich am Institut für
Psychologie als wissenschaftliche Hilfskraft tätig.

Am 29. Juli 1966 schloß ich das Studium der Psychologie
mit der Diplomprüfung ab und erhielt den Grad eines
Diplompsychologen.

Vom 1.8.1966 bis 1.2.1967 war ich am Sozialwissenschaft-
lichen Forschungszentrum der Universität Erlangen-Nürn-
berg als Verwalter einer wissenschaftlichen Assisten-
tenstelle tätig; seit 1.2.1967 bin ich am Psychologischen
Institut der Universität Erlangen-Nürnberg in Erlangen
als Verwalter einer wissenschaftlichen Assistentenstelle
beschäftigt.

Ich bin seit 5.8. 1966 verheiratet und seit 19.4.1969
Vater einer Tochter.

Offsetdruck-Fotodruck

J. Hogl, 8520 Erlangen Hauptstr. 109, (Nähe Martin-Luther-Platz) Tel. 22990
